



**Universitat de les
Illes Balears**

Títol: Avaluació de la contaminació per metalls pesats al bivalve *Pinna nobilis* i experiència de sembra de juvenils com a proposta de gestió activa

NOM AUTORA: *Mercè Morató Trobat*

Memòria del Treball de Final de Màster

Màster Universitari d'Anàlisi, Planificació i Gestió d'Àrees Litorals
de la
UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

Curs Acadèmic 2012/2013

Data setembre/2013

Signatura de l'autora

Nom Tutora del Treball: *Dra. Salud Deudero*

Signatura Tutora

Nom Cotutora: *Dra. Maite Vázquez-Luis*

Signatura Cotutora

Acceptat pel Director/a del Màster Universitari de

Signatura

Índex

Capítol I. Contextualització	5
Justificació.....	5
Marc legislatiu	7
Objectius	8
Capítol II. Anàlisi de la contaminació per metalls pesats de les poblacions de <i>Pinna nobilis</i> a les Illes Balears.....	9
1. Introducció	9
2. Zona d'estudi	13
3. Metodologia	14
4. Resultats.....	18
Capítol III. Mesures de gestió: experiència pilot d'assentament larvari i sembra de juvenils de <i>Pinna nobilis</i>	36
1. Introducció	36
2. Zona d'estudi	38
3. Metodologia	40
4. Resultats.....	46
5. Discussió.....	57
Capítol IV. Consideracions finals i propostes de gestió	60
Divulgació dels resultats obtinguts.....	62
Bibliografia	63

AGRAÏMENTS

Aquest treball ha estat possible gràcies al suport de les meves tutores, la Dra. Salud Deudero i la Dra. Maite Vázquez-Luis del Centre Oceanogràfic de les Illes Balears, per la seva inigualable ajuda, guia, feina i molta paciència que han tingut amb mi, i a Elvira Álvarez per la feina dedicada i l'ajuda constant durant més d'un any de feina.

Agraïr a Juan Antonio Campillo i Carlos Guitard del Centre Oceanogràfic de Murcia-IEO per la gran feina feta analitzant les mostres de metalls pesats i estant presents per a qualsevol dubte que m'hagi pogut sorgir sobre les tècniques analítiques emprades.

A més, aquest treball no s'hagués pogut dur a terme sense l'ajuda, suport logístic i empenta de Miguel Cabanellas-Reboredo, Matias Calvo i Cayetana Casas de l'Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA). Que han estat una companyia fantàstica en el treball de camp del Capítol III i una ajuda constant en els dubtes i cabòries que m'han anat sorgint al llarg del temps dedicat a aquest estudi.

Als gestors i agents de medi ambient del Parc Nacional Marítim-Terrestre de l'Arxipèlag de Cabrera per permetre desenvolupar dins la reserva integral de la badia de Santa Maria la nostra experiència de sembra de juvenils de *P. nobilis*.

També vull mencionar a les persones que m'ha acompanyat des del centre oceanogràfic amb el seu suport en els entrebancs que han anat sorgint durant tot el procés d'elaboració d'aquest treball com Carme Alomar, Alex Morell, Laura Lozano, Teresa Farriols, i Edurne Blanco. Gràcies per l'ajuda, les hores dedicades i les múltiples consultes que m'han resolt.

Moltes gràcies a tots per l'ajuda, la dedicació i la confiança dipositada.

LLISTAT D'ACRÒNIMS

AMP: Àrea Marina Protegida

APGAL: Màster en Anàlisi, Planificació i Gestió d'Àrees Litorals

BSAF: Factor d'Acumulació Bio-sediment.

CCAA: Comunitat Autònoma

DAC: Dispositiu Agregador de postes de Cefalòpodes

DAL: Dispositiu Assentament Larvari

IEO: Institut Espanyol d'Oceanografia

IMEDEA: Institut Mediterrana d'Estudis Avançats

MPI: Índex de Contaminació per Metalls

PN: Parc Nacional

ZEPIM: Zona Especialment Protegida d'Importància per al Mediterrani

Capítol I. Contextualització

Justificació

Inicialment, el present treball de final de màster es plantejà com un estudi de la viabilitat de la sembra de juvenils de la nacra, *Pinna nobilis* (L., 1758) com a mètode de gestió activa per a la conservació d'aquesta espècie. Però durant el transcurs de la fase de recol·lecció (juny 2012-maig 2013) d'individus juvenils mitjançant dispositius d'assentament larvari al Parc Nacional Arxipèlag de Cabrera es va detectar que l'assentament (és el procés que funciona a mode de pont entre dues fases vitals, i inclou el contacte de les larves amb el medi bentònic i el procés de metamorfosi (Connell, 1985)) era força baix i la possibilitat de dur a terme l'experiència de sembra es podia veure dificultada per el nombre totals d'individus. Per la qual cosa es va optar per desenvolupar un estudi en paral·lel de la concentració de metalls pesat als teixits blans de *P. nobilis* per la disponibilitat de les mostres i per la manca d'informació detectada en aquest àmbit. No obstant, i a causa de la feina realitzada, en l'estructura d'aquest treball s'hi troba emmarcat dins el capítol III l'estudi de la sembra d'individus juvenils de *P. nobilis* com mètode de gestió i mesura de conservació de l'espècie.

Pinna nobilis és un bivalve endèmic del Mediterrani, el mol·lusc de major grandària que es distribueix des d'aigües somes fins als 60 m de profunditat, viu semi-enterrat en fons de praderies de fanerògames, arena i fons detrítics, i és un organisme filtrador de gran importància i longevitat ja que pot superar els 20 anys (Butler 1993), anomenat comunament nacra. És per això, i per la regressió de les seves poblacions a causa de l'extracció il·legal, la mortalitat derivada dels fondejos i el deteriorament de les costes, que l'espècie es troba protegida i requereix una especial atenció en matèria de conservació. Les poblacions d'aquesta espècie s'han vist força reduïdes com a resultat de la pesqueria, la mort accidental per impacte amb àncores, la recol·lecció per a us ornamental (Katsanevakis, 2007; Cabanellas-Reboredo *et al.*, 2009), i indirectament per la regressió de les praderies de *Posidonia oceanica* (L.) (Marbà *et al.*, 1996); i l'estricta protecció que ostenta fan necessaris estudis amb la finalitat de generar dades aplicables per a la gestió i conservació de *Pinna nobilis* i el seu hàbitat.

S'han escollit les Illes Balears (Mallorca i Cabrera) com a zona d'estudi per proximitat al centre d'estudis i pel suport logístic ofert tant per l'IEO-COB (Institut Espanyol d'Oceanografia- Centre Oceanogràfic de les Illes Balears) com per l'IMEDEA (Institut Mediterrani d'Estudis Avançats) en les tasques de treball de camps realitzades especialment en el capítol III d'aquest treball.

Per al cas del capítol II del present treball cal fer especial menció al Parc Nacional Marítim-Terrestre de l'Arxipèlag de Cabrera, que es troba a una zona lliure de contaminació directa ja que es tracta d'un espai protegit des de l'any 1991 (B.O.E. nº 130, de 30 de abril de 1991), tot i que al llarg de la seva història al Parc s'hi han realitzat diverses activitats com ara activitats agrícoles i activitats militars. Tractant-se d'un àrea suposadament lliure de contaminació els estudis sobre composts contaminats son molt escassos i s'han centrat especialment en l'anàlisi

químic de mostres d'aigua, sediment i *Posidonia oceanica*, però no en organismes que bio-acumulen i/o bio-magnifiquen composts contaminants.

Per tant, amb aquest treball de final de màster del Màster en Anàlisi, Planificació i Gestió d'Àrees Litorals es pretén fer una aportació útil per al coneixement de l'estat ambiental de l'espècie *Pinna nobilis* a les Illes Balears a partir de l'anàlisi de metalls pesats de les tres localitats estudiades; i provar un mètode de gestió activa a l'àmbit balear per aportar dades encarades a la planificació i conservació de l'espècie objecte d'estudi.

Marc legislatiu

El mol·lusc bivalve *Pinna nobilis*, com a conseqüència del creixent deteriorament del seu hàbitat, és objecte de múltiples figures de protecció detallades tot seguit:

- Catalogada com espècie d'interès per a la seva protecció a “Les Espèces Marines à protéger en Méditerranée”, 1989.
- Inclosa per el Consell Europeu al catàleg d'espècies d'interès comunitari per a les quals es requereix una protecció estricta.
- Inclosa a l'annex IV de la llista d'espècies animals i vegetals d'interès comunitari que requereixen una protecció estricta de la Directiva Hàbitats (D. 92/43/CEE).
- Figura a l'annex II (llista d'espècies en perill o amenaçades) del Conveni de Barcelona (1995).
- Figura la Conveni de Montecarlo (1996)
- Figura a l'annex II del Conveni de Berna.
- S'inclou a l'annex I i II del Real Decret de 1193/1998 del 12 de juny, en el que s'estableixen les mesures per a contribuir a garantir la biodiversitat en el territori d'aplicació de la Directiva Hàbitats (92/43/CEE).
- Inclosa a l'annex I com a espècies, subespècies i poblacions catalogades a la categoria de vulnerables al Catálogo Nacional de Especies Amenazadas del 1999.
- Recollida al Real Decret 139/2011 del 4 de febrer per al desenvolupament del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.
- S'inclou a l'Annex II del Protocol sobre biodiversitat i ZEPIM.
- Queda inclosa a l'Annex V d'espècies animals i vegetals d'interès comunitari que requereixen una protecció estricta de la Llei 42/2007 de 13 de desembre del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

Des del punt de vista normatiu la CCAA de les Illes Balears no posseeix un Pla de Recuperació de l'espècie i no es troba contemplada en el llistat d'espècies que a causa de la seva delicada situació de conservació no es poden capturar a les Reserves Marines de les Illes Balears. No obstant, la legislació europea i estatal requereixen l'actualització de les dades existents sobre *Pinna nobilis* i la seva conservació.

A més, cal posar de manifest que l'hàbitat preferent del mol·lusc *Pinna nobilis* coincideix amb tres hàbitats prioritaris de la Directiva Hàbitats: hàbitat 1120 (praderies de *Posidonia oceanica*), hàbitat 1150 (llacunes costaneres) i hàbitat 1160 (grans cales i badies).

La Llista Vermella de la Unió Internacional per a la Conservació de la Naturalesa (UICN) es considera un referent de l'estat de conservació de les espècies i és també reflexa de la falta d'estudis sobre el medi marí; per al cas de *Pinna nobilis* la categoria de la UICN és No Catalogada.

Objectius

El present treball de final de màster forma part dels treballs científics realitzats al projecte "Estado de conservación del bivalvo amenazado *Pinna nobilis* en el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera" (024/2010), "Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino".

L'objectiu general d'aquest projecte d'investigació és analitzar l'estat ambiental de les poblacions de *Pinna nobilis* per a realitzar recomanacions de gestió dins l'àmbit de les Illes Balears.

Objectius específics:

Capítol II. Analitzar la contaminació per metalls pesats de les poblacions de *P. nobilis* en tres localitats de les Illes Balears -Andratx, Magaluf i Cabrera-.

- a. Identificar les concentracions de metalls pesats (Cd, Cu, Hg, Pb i Zn) en teixits blans de *P. nobilis*.
- b. Analitzar i comparar la contaminació per metalls pesats a poblacions de *P. nobilis* a tres llocs de les Illes Balears
- c. Comparar els valors obtinguts amb bibliografia existent per tal de determinar valors de referència per a un bivalve no comercial.
- d. Aportar dades vàlides per a avaluar l'estat de les poblacions de *P. nobilis*.

Capítol III. Realitzar una prova pilot de l'assentament larvari i sembra de juvenils de *P. nobilis* a l'Illa de Cabrera, Parc Nacional.

- e. Determinar l'efectivitat de sembra de juvenils como a mètode de gestió activa efectiu per a la conservació de *P. nobilis*.
- f. Avaluar la supervivència dels juvenils sembrats per a dues profunditats diferents (10 i 20 metres de profunditat).
- g. Determinar l'efectivitat de la recol·lecció d'individus juvenils mitjançant dispositius d'assentament larvari per a poder realitzar experiències de sembra.

Capítol II. Anàlisi de la contaminació per metalls pesats de les poblacions de *Pinna nobilis* a les Illes Balears

1. Introducció

S'entén per contaminació la presència al medi d'elements amb la capacitat de degradar la qualitat del medi i/o perjudicar la biota. En el medi marí s'hi poden trobar diferents tipus de contaminants, de naturalesa física, de naturalesa química o de naturalesa biològica; tot i que els contaminants químics representen el grup més important i entre ells es troben els composts inorgànics un exemple dels quals són els metalls pesats. Les concentracions d'aquests elements en aigua natural marina es solen trobar a nivells inferiors a 50 nmol/L, i la Oceanografia química els inclou al grup dels elements traça, ja que tot i els baixos nivells de concentració tenen importants implicacions a nivell químic i biològic als sistemes aquàtics (Fernández-Turiel et al. 1995).

Els metalls pesats són composts tòxics per als organismes aquàtics, però el seu grau de toxicitat i la seva disponibilitat depenen de la forma química en la que es trobin al medi: retinguts al sediment, dissolts a l'aigua o acumulats als organismes marins (Fernández, 2012). Es poden diferenciar dos tipus de metalls pesats, aquells que són essencials ja que en quantitats traça són nutrients per a la biota, i els metalls no essencials ja que no tenen una funció biològica coneguda i són tòxics a baixes concentracions. A més són composts crítics a tots els ecosistemes, adquirint gran importància en els ecosistemes marins ja que hi poden jugar diferents papers: poden ser elements contaminants, poden ser elements limitants i essencials, i a la vegada poden ser empleats com a indicadors ambientals. No obstant, el seu anàlisi no és gaire freqüent en estudis de qualitat ambiental del litoral (Tovar et al. 2010). Així, el seu anàlisi és essencial per a garantir l'adequada conservació i protecció dels ecosistemes costaners, i és, per tant, fonamental per a determinar l'estat actual i el funcionament de l'ecosistema complementar els estudis que ja s'han dut a terme dins l'àmbit de les Illes Balears (Tovar-Sánchez et al. 2010; Sureda et al., 2013) en aquest sentit amb organismes de vida llarga, bentònics i potencials bio-acumuladors de contaminants com el bivalve *P. nobilis*.

Els metalls pesats poden arribar al medi per diferents fonts, poden tenir un origen natural quan provenen de material inorgànic o un origen antropogènic si provenen d'activitats humanes (Vicente, 2010). Cal destacar que la major part dels contaminants químics que es troben a les zones costaneres són d'origen antropogènic. D'aquesta manera, els continguts naturals dels metalls pesats al medi es poden veure incrementats per moltes activitats humanes, ja que són utilitzats en molts productes industrials.

En el present treball s'ha analitzat la presència de cinc metalls al bivalve *Pinna nobilis*, dos metalls pesats essencials (Cu i Zn) i tres metalls pesats no essencials (Cd, Hg i Pb). No obstant, tot i que el coure i el zinc siguin metalls essencials, la seva presència per sobre d'un límit d'acumulació esdevé tòxica. A més, el cadmi (Cd), el

mercuri (Hg), i el plom (Pb) s'han classificat recentment com a substàncies perilloses prioritàries (Du et al., 2011).

Aquests metalls poden arribar per diferents fonts, naturals i antropogèniques, al medi marí que seguidament es detallen:

Taula 1. Origen dels metalls al medi marí

Metall	Origen/font	Referència
Cd	<u>Fonts antropològiques:</u> Indústria química Indústria fotogràfica Fertilitzants i pesticides Mineria Refineria de petroli Indústria nuclear Pintures Bateries i estabilització de plàstics Incineradores Combustió de carburants fòssils <u>Fonts naturals:</u> Deposició atmosfèrica Erosió de roques Inputs de Rius Estat iònic lliure a les aigües com a catió divalent	Neff, 2002. (Ch 5) Ramos, 2011 Rosas, 2001
Cu	<u>Fonts antropogèniques:</u> Indústria química Metal·lúrgia Mineria Fabricació de cablejat i fils conductors Tractament del cuir Indústria tèxtil Indústria farmacèutica Fertilitzants i insecticides Bateries de cuina i soldadors <u>Fonts naturals:</u> Erosió de roques	Ramos, 2001 Adraino, 1986
Hg	<u>Fonts antropològiques:</u> Indústria química Metal·lúrgia i amalgames Mineria Tractament del cuir Indústria tèxtil Detonadors explosius Fertilitzants i pesticides Indústria farmacèutica Refineria de petroli Tintes i pigments <u>Fonts naturals:</u> Erosió de roques Inputs de rius Emissions volcàniques	Corbin & Wade, 2004 Rosas, 2001 Vink et al., 1999

Pb	<u>Fonts antròpiques:</u> Mineria Metal·lúrgia Explosius Indústria química Refineria de petroli Batries Colorants, pigments i pintures Canonades <u>Fonts naturals</u> Emissions volcàniques Erosió de roques Vent amb pols del Sàhara Deposició atmosfèrica	Rosas, 2001 Vink et al., 1999
Zn	<u>Fonts antròpiques:</u> Indústria química i farmacèutica Fertilitzants i insecticides Combustió de carbó Processament d'acer Indústria tèxtil Recobriments de protectors contra corrosió Refineria de petroli <u>Fonts naturals:</u> Deposició atmosfèrica Inputs de rius	Neff, 2002. (Ch 10) Sánchez 2011 Rosas, 2001

El cadmi és un metall que no apareix al medi en la seva forma pura i no existeixen minerals que continguin cadmi en quantitats suficients a la seva composició com per a ser aprofitables comercialment, així que s'obté gairebé sempre com a producte secundari de l'extracció d'altres elements, normalment zinc. Però si que es pot trobar el cadmi en dissolució en varies formes, especialment com a ió lliure Cd^{2+} (Doménech, 1995). Es tracta d'un metall tòxic que a l'actualitat té moltes aplicacions (<http://hdl.handle.net/10803/6978> - Rosas, 2001) i la forma més comú és el sulfur de cadmi (CdS). A més, quan està associat principalment a minerals de Zn, Pb-Zn i Pb-Cu-Zn, tot i que la seva concentració depèn normalment del contingut en zinc (Thornton, 1986).

El coure és un element bastant abundant a l'escorça terrestre i es sol presentar en forma de sulfats, carbonats, sulfurs de Cu i Fe, entre d'altres; tot i que en solucions aquoses es pot presentar en la forma iònica Cu^{2+} o Cu^+ (Navarro et al., 1998). A més té molta facilitat per ser absorbit per partícules sòlides en suspensió i així incorporar-se més ràpidament al sediment (Rosas, 2001). La biodisponibilitat del coure és variable i es redueix molt als sediments a pH per damunt de 7 però és fàcilment disponible per davall de 6 (Adriano, 1986).

A l'escorça terrestre hi ha quantitats baixes, en general, de mercuri però es troba en tot tipus de roques; i, tot i que no es troba habitualment en el medi natural la seva presència sol anar associada a una contaminació d'origen antròpic (Malm et al., 1990) ja que està considerat el metall més tòxic dels analitzats en aquest treball. L'ió Hg^{2+} té molta facilitat per adsorbir-se sobre partícules sòlides, per la qual cosa fa que augmenti molt el contingut de mercuri en el material en suspensió (unes 25 vegades més que en solució) i encara augmenta molt més a les plantes aquàtiques (fins a 104 vegades la concentració existent a l'aigua) (Rosas, 2001).

Un element freqüent a l'escorça és el plom i es pot trobar en diverses formes, tot i que és un metall poc mòbil. En quant al zinc és un metall molt abundant amb una gran capacitat per a adsorbir-se al sediment. Es sol trobar en la forma Zn (II), i hi ha estudis que apunten que les dejeccions d'animals i persones augmenten significativament els nivells de zinc al medi aquàtic, especialment a riu (Facetti et al., 1998; Usero et al., 1997)

Molts organismes bentònics acumulen elements traça al nivell dels quals reflecteixen els del medi ambient, per tant, les concentracions en els teixits dels organismes poden reflectir la contaminació; des de principis de la dècada dels 1970s s'ha establert que els teixits tous dels organismes marins acumulen metalls pesats (Cravo & Bebianno, 2005), i els mol·luscs en particular poden ser bioindicadors sensibles a inputs de metalls pesats (Hendozko E. et al., 2010; Kumar G. & Sinh, 2011). La capacitat dels bivalves per a concentrar metalls pesats del medi marí és força coneguda (Martincic et al. 1984) i algunes espècies de musclos com ara *Mytilus gallorprovincialis* han estat àmpliament utilitzats per a supervisar els ambients costaners per diverses raons (Deudero et al. 2009).

Existeixen nombrosos estudis que avaluen metalls pesats en el context del mar Mediterrani, especialment en sediments (Buccolieri et al., 2006), praderies de *Posidonia oceanica* (Lafabrie et al. 2008) i espècies d'invertebrats bentònics (Deudero et al. 2007), però hi ha pocs estudis sobre filtradors de vida llarga com *P. nobilis*.

S'han trobat alguns estudis referents a *P. nobilis* o espècies de la mateixa família que estudiïn metalls pesats, però en cap cas els mateixos metalls analitzats en aquest estudi ni mitjançant la mateixa metodologia. Al Golf de Geras Catsiki et al. (1994) estudiaren la distribució de crom (Cr) a diverses espècies bentòniques, entre elles *P. nobilis*, obtenint com a resultat que les majors concentracions es trobaven a l'hepatopàncrees d'aquest bivalve; al Golf de Spencer, Austràlia, s'han fet estudis (Corbin & Wade, 2004) sobre una espècie similar que es consumeix, *Pinna bicolor*, obtenint resultats força elevats de concentracions de metalls pesats i, fins i tot, algunes mostres amb valors de ferro (Fe) per sobre dels nivells màxims establerts per al consum. A més, aquest mateix any s'ha publicat el primer article (Sureda, 2013) que avalua els efectes de la contaminació per hidrocarburs aromàtics policíclics (PAHs) al bivalve *P. nobilis* arran del naufragi del vaixell Don Pedro a la costa de Talamanca, a l'Illa d'Eivissa.

Els diferents estudis apunten als bivalves de la família Pinnidae com a grans bioacumuladors de metalls pesats i els estudis en aigües costaneres en zones contaminades per metalls pesats són molt escassos (Sañudo-Wilhelmy et al., 2004) per la qual cosa es fa necessari estudiar l'estat de contaminació per metalls pesats de les poblacions del bivalve endèmic més gran del Mar Mediterrani, *Pinna nobilis*.

Amb aquest capítol es pretén aportar dades de base sobre els nivells de Cd, Cu, Hg, Pb i Zn en individus del mol·lusc bivalve *P. nobilis* recol·lectats l'octubre de 2011 al llarg de 3 llocs de la línia de costa de les Illes Balears.

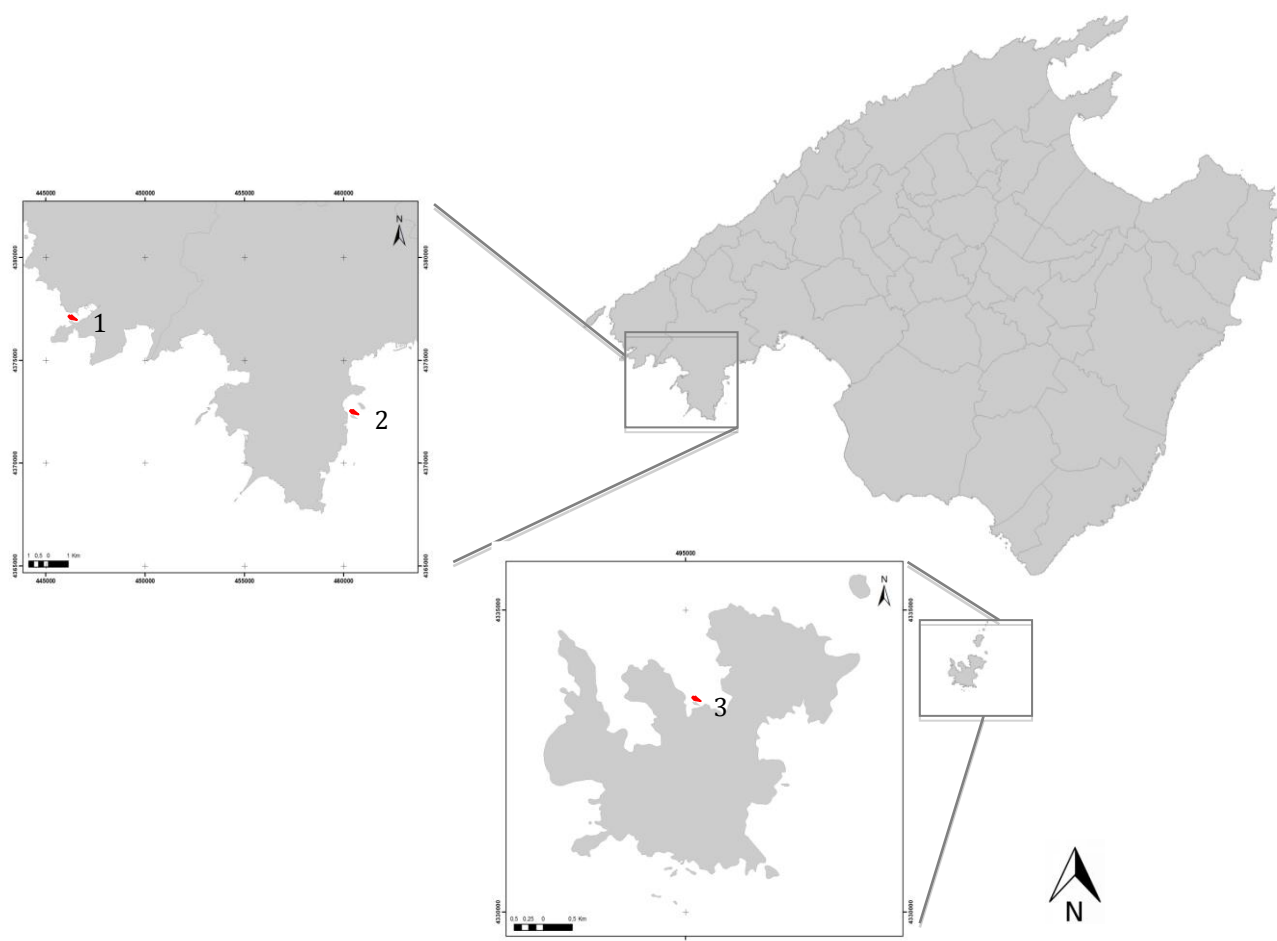
2. Zona d'estudi

S'han analitzant mostres independents d'individus adults de *Pinna nobilis* de tres localitats de les Illes Balears, Andratx i Magaluf a l'Illa de Mallorca i Badia de Santa Maria a l'Illa de Cabrera. S'han escollit les localitats d'estudi en base a dos factors: el impacte humà i el grau de protecció de l'àrea. El fons dominant a les tres localitats d'estudi son les praderies de *Posidonia oceanica*, a una profunditat d'entre 8 i 12 m.

Taula 2. Localitats on s'han extret les mostres de *Pinna nobilis* per a l'anàlisi de metalls pesats. Ennumerats de l'1 al 3, Andratx, Magaluf i badia de Santa Maria respectivament. Font: elaboració pròpia

Localitat	n	Coordenades
1-Andratx- Mallorca	4	39°32'13.85"N- 2°22'20.57"E
2-Magaluf-Cabrera	4	39°30'12.78"N- 2°32'39.78"E
3-badia de Santa Maria-Cabrera	6	39°08'58.58"N- 2°56'27.90"E

La zona d'estudi amb les tres localitats de les quals s'han extret mitjançant busseig els individus de *P. nobilis* objectes d'aquest treball. Les zones escollides formen part de l'illa de Mallorca (1-Andratx i 2-Magaluf) i de l'Illa de Cabrera (3-badia de Santa Maria):



Il·lustració 1. Mapa de les tres localitats on s'han extret els individus de *P. nobilis* per a l'anàlisi de metalls pesats, enumerades de 1 a 3 (Andratx, Magaluf i badia de Santa Maria respectivament). Font: elaboració pròpia

3. Metodologia

En aquest capítol del treball de final del Màster en Anàlisi, Planificació i Gestió d'Àrees Litorals s'ha contat amb l'aportació d'altres autors de l'Institut Espanyol d'Oceanografia per a la presa de mostres i l'anàlisi dels metalls pesats estudiats.

3.1. Procediment de mostreig

Les mostres de *P. nobilis* es col·lectaren el mes d'octubre de 2011 per mitjà de busseig a una profunditat d'entre 8 i 12 metres i seleccionant individus de talles entre 13 i 22 cm d'amplada màxima (mitjana de 18,42 cm \pm 2,73 cm (S.D.)) per assegurar que els individus siguin adults i es puguin comparar entre ells. Es recol·lectaren 14 mostres de individus independents seguint un protocol de procés analític que respongui a l'objectiu marcat i al que es vol aconseguir amb el posterior anàlisi.

Seguidament es detalla el protocol per al mostreig biològic dut a terme per a que el resultat sigui vàlid i viable:

1. Durant tot el tractament i emmagatzament de les mostres s'utilitzaren guants de làtex.
2. S'obre la *Pinna nobilis* amb delicadesa i fent palanca per a obrir el bivalve sense fer malbé les valves per al seu posterior anàlisi biomètric.
3. Es talla el múscle abductor.
4. Es posa l'individu manipulat a un embut de ceràmica i es deixa decantar.
5. Cada individu ha estat marcat amb el mateix codi per a totes les mostres que s'extreguin. S'ha marcat amb una lletra per a cada zona (AN: Andratx, PA: Palma-Magaluf, S: badia de Santa Maria) i un nombre, començant per el nombre 1 i a continuació la data d'extracció de l'individu; amb permanent indeleble.
6. Es pesa tot l'individu (bisus i múscle inclosos).
7. Es pesa l'individu sense el bisus.
8. Es separen el mantell de la massa visceral i de les brànquies, i es col·loquen en pots de vidre independents per a cada mostra.
9. Les mostres independents es congelen a -20°C per a que no es degradin.

El procés més crític correspon a la presa de mostres, emmagatzament i pretractament ja que la mostra ha de ser representativa del que es vol analitzar, es pot contaminar si no es segueixen les mesures de seguretat necessàries i, si no es duu a terme un correcte etiquetatge es poden produir errors d'exactitud.

*Cal posar de manifest que el mateixos individus extrets del medi marí han estat utilitzats per analitzar altres aspectes de la biologia de *Pinna nobilis*: genètica a partir del múscle i el mantell, perkinsus a partir de mostres de brànquia, isòtops a partir de múscle abductor, genètica-telòmers a partir del mantell, i desenvolupament gonadal a partir de les gònades.*

3.2. Anàlisi de metalls pesats

Les mostres de les parts blanques de *P. nobilis* s'han analitzat al Centre Oceanogràfic de Murcia (IEO) a càrrec dels Doctors J. Campillo i C. Guitard per als següents metalls: cadmi (Cd), coure (Cu), mercuri (Hg), plom (Pb) i zinc (Zn).

Els anàlisi s'han realitzat a partir de les parts blanques (tots els teixits conjuntament) dels 14 individus de *P. nobilis* prèviament assecats i congelats. S'han liofilitzats i homogeneïtzats les mostres, i mitjançant un molí de boles centrífug (Fritsch 06102) amb 30, 20 i 10 mm de diàmetre de bola d'agatha i un temps de molta de 10 a 15 minuts s'ha obtingut el material en pols per a realitzar l'anàlisi de concentracions dels metalls pesats a estudiar. S'han analitzat mostres de 50 mg que corresponen al conjunt dels teixits de cada individu per separat, per la qual cosa no s'ha pogut determinar si existeixen diferències en el contingut de metalls pesats entre els diferents òrgans o si hi ha metalls amb major capacitat de bioacumular en algun teixit en concret com apunten Catsiki et al. (1994).

Per les característiques de cada metall s'han hagut d'utilitzar diverses tècniques analítiques per a determinar les concentracions de les diferents variables: S'han analitzat les concentracions de mercuri (Hg) mitjançant absorció atòmica per a mostres sòlides (Solid-AAS) amb l'Analitzador de Hg Total per combustió directa AMA 254 (LECO Corporation). L'anàlisi s'ha realitzat sense digestió prèvia de les mostres i els teixits s'han liofilitzats i homogeneïtzats.

La tècnica AMA 254 de combustió directa escalfa les mostres en un forn a 550° C donant lloc a una descomposició tèrmica, i compta amb un tub de combustió/catalitzador que descompon la mostra en un ambient ric en oxigen i eliminar els elements que interfereixen. Un parany amalgamador que conté or recull tot el mercuri i quan s'escalfa allibera el mercuri que passa a través d'una cèl·lula, i el mercuri es determina llavors per espectrofotometria UV (Buccolieri et al., 2006). El límit de detecció del mètode (LOD) és (3XSD Blanc (n=64)) 0.1848 ng (equivalent a 4 ppb) i el límit de quantificació del mètode és 11 ppb.

Per a la resta de metalls (Cd, Cu, Pb i Zn), prèvia digestió àcida amb àcid nítric de les mostres (130° C durant 5 hores en un forn de microones utilitzant reactors d'alta pressió de tefló) s'ha utilitzat espectrofotometria d'absorció atòmica (AAS) sobre els teixits assecats per congelació i homogeneïtzats. Aquesta metodologia va ser descrita per Rodríguez et al. (1995).

Les concentracions de Cd s'han analitzat mitjançant l'Analitzador GF-AAS (Perkin-Elmer 4110ZL), quantificat amb programa no lineal 2-4-8-10 ug/L i un límit de quantificació del Cd de 0.01 mg/Kg. En canvi, les concentracions de Cu, Pb i Zn s'han analitzat mitjançant el mètode AAS per flama F-AA (Perkin-Elmer AAnalyst 100). El coure (Cu) ha estat quantificat amb programa no-lineal 0.5-1-2 mg/L, PA1 i PA4 dilució 1/2, amb un límit de quantificació del Cu de 0.3 mg/Kg; el Pb (plom) ha estat quantificat amb programa no-lineal 0.5-1-1.5-2-4- mg/L amb nebulitzador d'alta sensibilitat i blanc restat i corregit per la recuperació, i amb un límit de quantificació de 1 mg/Kg; i el Zn (zinc) ha estat quantificat amb programa no-lineal 2-4-6 mg/L, totes les mostres a dilució 1/10, i amb un límit de quantificació de 0.3 mg/Kg.

Cal especificar que s'ha optat per l'analitzador d'AAS (espectofotometria d'absorció atòmica) de flama perquè és una tècnica que té menys interferència tot i que és menys sensible, i això es deu als alts valors obtinguts de metalls de les mostres analitzades.

L'exactitud i precisió dels procediments analítics s'ha comprovat mitjançant l'anàlisi d'un certificat de referència DORM-3 (proteïnes de peix) i NIST-2976 (musclo) per al mercuri (Hg) i NIST-2976 (musclo) per a tots els metalls (Cd, Cu, Pb i Zn), els valors dels quals s'observen a la taula 3:

Taula 3. Certificate bivalves marins (NIST 2976) i concentració de metalls de totes les mostres (mitjana \pm SD, mg/Kg pes sec)

Element	Valor certificat	Valor trobat
Cd	0,82 \pm 0,16	12,32 \pm 12,76
Cu	4,02 \pm 0,33	87,05 \pm 99,31
Hg (total)	0,61 \pm 0,036 ^a	0,68 \pm 0,34
Pb	1,19 \pm 0,18	14,52 \pm 11,88
Zn	137 \pm 13	2835,19 \pm 1140,93

(^a) els resultats s'expressen com el valor certificat \pm la incertesa expandida

Per comparar els valors de tots els metalls analitzats a les diferents localitats s'ha utilitzat un índex de contaminació per metalls (MPI) que els agrupa i permet observar la seva acumulació mitjançant una senzilla fórmula. Aquest índex ha estat descrit per Usero et al. (1996) i utilitzat per altres autors (Usero et al., 2005; Deudero et al., 2007; Lafabrie et al., 2008):

$$\text{MPI} = (\text{Cf}_1 \times \text{Cf}_2 \dots \text{Cf}_n)^{1/n}; \text{ on } \text{Cf}_n \text{ és la concentració del metall } n \text{ a la mostra.}$$

Per comparar els resultats obtinguts de les mostres de *Pinna nobilis* amb la bibliografia existent només s'han considerat el conjunt dels 5 metalls (Cd, Cu, Hg, Pb, Zn) estudiats per a tots els casos, independentment de si els estudis consultats avaluen altres metalls. A més, el MPI s'ha basat en les concentracions de Cd, Cu, Hg, Pb i Zn, alguns dels elements traça tòxics més comunament analitzats en el medi aquàtic (Meybeck et al., 2004).

Per avaluar l'eficiència de la bioacumulació de metalls pesats als teixits de *P. nobilis* i poder fer una comparació amb altres espècies, s'ha calculat el factor d'acumulació bio-sediment (BSAF) (Lau et al., 1998; Usero et al., 2005), que es defineix com:

$$\text{BSAF} = \text{C}_x / \text{C}_s, \text{ ratio entre la concentració de metalls a l'organisme i la concentració de metalls al sediment.}$$

Per a determinar aquest factor s'han utilitzat dades recollides de la bibliografia existent. Per al cas de les mostres de la badia de Santa Maria, Cabrera, s'han utilitzat dades de Tovar et al. (2010) i per calcular el factor de la localitat de Magaluf, Mallorca, s'han utilitzat dades de Ballesteros et al. (2007). En ambdós

casos el factor s'ha calculat a partir de valors mitjans de concentració de cada element traça.

Amb aquest factor es pretén veure si existeixen diferències entre l'eficiència de la bioacumulació de *P. nobilis* a dos espais marins amb pressions diferents, una àrea amb forta influència antròpica i un àrea marina protegida.

No s'han pogut obtenir dades de sediment de la zona d'Andratx, Mallorca, per la qual cosa aquesta localitat ha quedat exclosa de l'aplicació del factor d'acumulació bio-sediment (BSAF) i no s'ha pogut avaluar l'eficiència de bioacumulació de *P. nobilis*. Tot i així, en aquest treball l'existència de dues àrees amb influència antròpica (Andratx i Magaluf) fa que la comparació sigui igualment viable ja que resten dos llocs d'estudi amb gradient antròpic diferent: Magaluf (espai antropitzat) i badia de Santa Maria (AMP).

3.3. Anàlisi estadístic

En els anàlisis estadístics aplicats a aquest estudi s'han utilitzat les dades de concentracions dels metalls pesats (Cd, Cu, Hg, Pb, i Zn) en mg/kg de pes sec de 14 individus per separat de *P. nobilis* procedents de 3 localitats de la costa Balear (Andratx, Magaluf i badia de Santa Maria). Aquestes variables s'ha analitzat mitjançant el programa estadístic PRIMER 6®, que permet l'anàlisi estadístic de dades biològiques i ambientals. A més, per analitzar les diferències entre les variacions de concentració a cada una de les mostres s'ha utilitzat el paquet estadístic SPSS 11.5®.

Les diferències entre les variacions de concentració de metalls pesats als teixits blans de *P. nobilis* s'han analitzat mitjançant una ANOVA (Anderson, 2001) d'un factor (one way analysis of variance). Previ a l'anàlisi ANOVA s'ha comprovat la normalitat de les dades i la homogeneïtat de les variàncies utilitzant proves de Kolmogorov-Smirnoff i Levene respectivament.

Per a analitzar la variació espacial de les localitats de mostreig d'acord amb les concentracions dels metalls pesats estudiats (Cd, Cu, Hg, Pb i Zn) s'ha utilitzat un Anàlisi de Components Principals (PCA), després de normalitzar i estandarditzar totes les dades. Per a determinar el percentatge contribució de les diferents variables (metall pesats) a cada grup de mostres de teixits blans de *P. nobilis* s'ha realitzat l'anàlisi SIMPER (Similarity percentages-species contributions).

A més, s'ha estudiat la semblança entre les mostres mitjançant MDS (Non-metric multi-dimensional scaling), que representa visualment el patró de proximitats de les mostres com una configuració òptima dels punts en l'espai en 2 dimensions. També s'ha utilitzat l'MDS com a mètode d'ordenació per explorar els canvis en els valors de metalls pesats estudiats a les mostres de *P. nobilis* en relació a l'estat de conservació de la localitat d'estudi (àrea marina protegida (AMP) o zona antropitzada (no AMP)).

4. Resultats

A continuació es presenten els resultats més rellevants derivats dels anàlisis duts a terme per a determinar l'estat de salut de les poblacions de *P. nobilis*.

A la següent taula (taula 4) s'observen les concentracions mitjanes dels 5 metalls analitzats a les parts blanques dels individus de *P. nobilis* de les tres localitats de les Illes Balears objecte d'aquest estudi, Andratx, Magaluf i badia de Santa Maria:

Taula 4. Mitjana \pm S.D. (min-max) en mg/Kg de pes sec del conjunt de teixits, mesurat a individus de *Pinna nobilis* de tres localitats, i Índex de Contaminació per Metalls (MPI) a la costa de les Illes Balears, Oest del Mediterrani. (n= nombre d'individus analitzats).

Lloc	1. Andratx (n= 4)	2. Magaluf (n= 4)	3. Santa Maria Bay (n= 6)
Metalls			
Cd	1,613 \pm 0,606 (1,21-2,5)	8,918 \pm 3,002 (5,82-13,03)	26,435 \pm 6,966 (15,03-33,1)
Cu	6,05 \pm 2,204 (4,1-9,2)	197,85 \pm 88,084 (127,1-319,2)	57,25 \pm 30,405 (20,9-96,5)
Hg	0,297 \pm 0,044 (0,25-0,35)	0,795 \pm 0,220 (0,56-1,09)	0,957 \pm 0,133 (0,82-1,16)
Pb	0,895 \pm 0,21 (0,58-1)	20 \pm 6,272 (12-27)	22,67 \pm 5,164 (15-29)
Zn	4034,25 \pm 358,71 (3670-4529)	1763 \pm 607,879 (1244-2631)	2708,33 \pm 347,757 (2364-3224)
MPI	6,22 \pm 0,528	34,446 \pm 11,549	38,171 \pm 8,2

En termes generals es pot dir que el zinc (Zn) i el coure (Cu) són els metalls pesats contaminants amb les concentracions més altes trobades a les mostres de *P. nobilis*, mentre que el mercuri (Hg) té les concentracions més baixes. Però cal destacar que, com ja s'ha esmentat més amunt, aquests dos metalls tenen una funció biològica coneguda i són metalls pesats essencials.

Seguidament es detallen els resultats de les concentracions de cada un dels metalls estudiats:

El cadmi (Cd; il·lustració 2), que és un metall no essencial i recentment classificat com a substància perillosa prioritària (Du et al., 2011), s'ha trobat en un rang de valors de: 1.21-33.1 mg/Kg de pes sec i s'han detectat amb diferències significatives ($p < 0.05$) entre el lloc d'estudi de badia de Santa Maria i les altres dos llocs (Andratx i Magaluf). Els valors més alts s'han observat a la badia de Santa Maria i els valors més baixos s'han trobat a la localitat d'Andratx (Mallorca), valor mitjà de 26.435 i 1.613 mg/Kg de pes sec respectivament.

El coure (Cu; il·lustració 3), metall pesat essencial, s'ha trobat en un rang de valors força ampli: 4.1-319.2 mg/Kg de pes sec, on els valors més alts s'han trobat a Magaluf (valor mitjà: 197.85 mg/Kg de pes sec) i els més baixos a Andratx (valor mitjà: 6.05 mg/Kg de pes sec).

El mercuri (Hg; il·lustració 4), metall considerat com a substància perillosa prioritària (Du et al., 2011) i que a concentracions molt baixes resulta tòxic, s'ha trobat en un rang de valors de: 0.25-1.16 mg/Kg de pes sec, on els valors més baixos analitzats provenen de la localitat d'Andratx (valor mitjà: 0.297 mg/Kg de pes sec) i els valors més alts de la Badia de Santa Maria (valor mitjà: 0.957 mg/Kg

de pes sec) tot i que significativament similars als de la localitat de Magaluf (valor mitjà: 0.795).

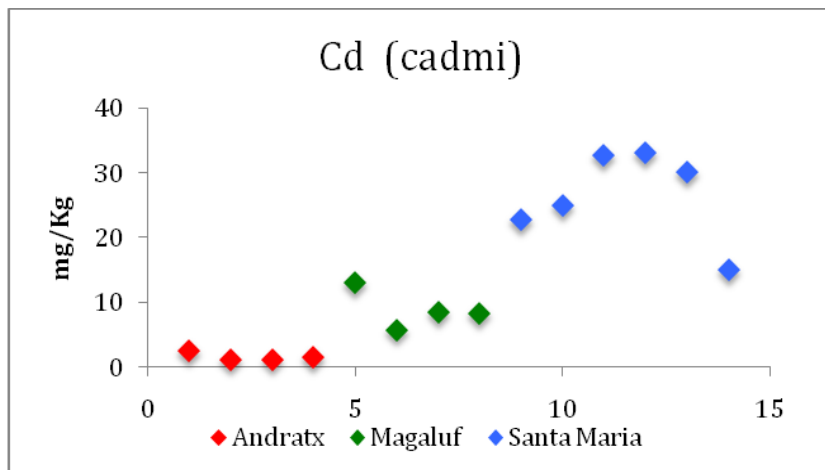
El Plom (Pb; il·lustració 5), metall considerat substància perillosa prioritària (Du et al., 2011), s'ha trobat en un rang de valors de: 0.58-29 mg/Kg de pes sec, on els valors més baixos analitzats provenen de la localitat d'Andratx (valor mitjà: 0.895 mg/Kg de pes sec) i els valors més alts de la localitat de Badia de Santa Maria (valor mitjà: 22.67 mg/Kg de pes sec) similar al valor mitjà trobat a la localitat de Magaluf (20 mg/Kg de pes sec).

El zinc (Zn; il·lustració 6), metall pesat essencial, s'ha trobat en un rang de valors d'un ordre de magnitud superior als valors més alts dels demés metalls: 1244-4529 mg/Kg de pes sec, on els valors més alts s'ha trobat a la localitat d'Andratx (valor mitjà: 4034 mg/Kg de pes sec) i els valors més baixos a la localitat de Magaluf (valor mitjà: 1763 mg/Kg de pes sec).

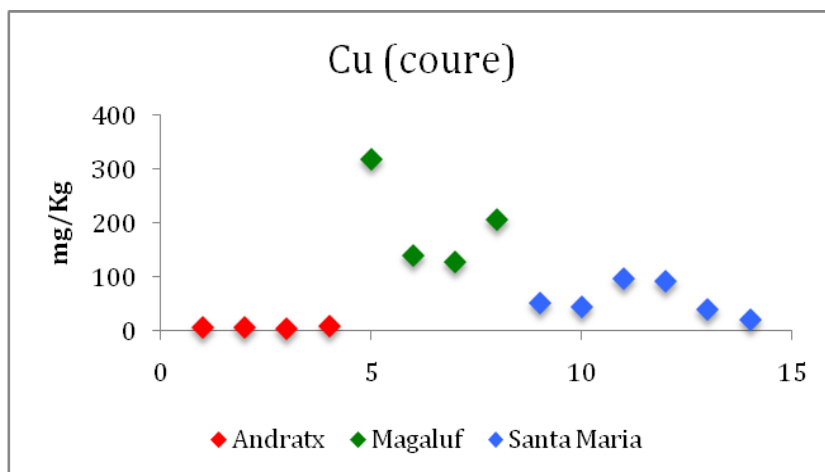
En resum, els resultats globals per a totes les mostres analitzades de metalls pesats mostren que les concentracions disminueixen segons l'ordre: Zn > Cu > Pb > Cd > Hg. Al lloc de protecció integral (badia de Santa Maria) les concentracions de metalls disminuir en l'ordre: Zn > Cu > Pb > Cd ≥ Hg, però en el lloc amb forta influència antròpica (Magaluf) hi ha una ordre de disminució diferent: Zn > Cu > Pb > Cd > Hg, i el valor més alt de Zn s'ha trobat a Andratx. La concentració de la major part dels metalls varia considerablement depenent de la ubicació de les estacions de mostreig.

Els resultats generals, com es demostra a la taula 4, indiquen clarament que les condicions ambientals imperants afavoreixen una major biodisponibilitat de metalls a la badia de Santa Maria, Cabrera, en comparació amb les altres dues localitats (Andratx i Magaluf).

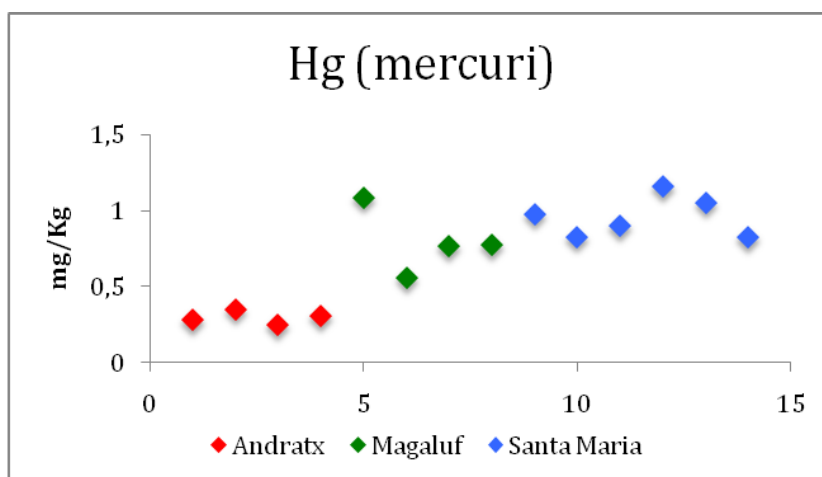
S'han expressat els valors individuals per a cada un dels metalls analitzats (Cu, Cd, Hg, Pb i Zn) per a que es puguin detectar les diferències inter-individuals per lloc d'estudi, on es pot observar una resposta diferencial dels individus analitzats per a cada metall (il·lustracions 2 a 6).



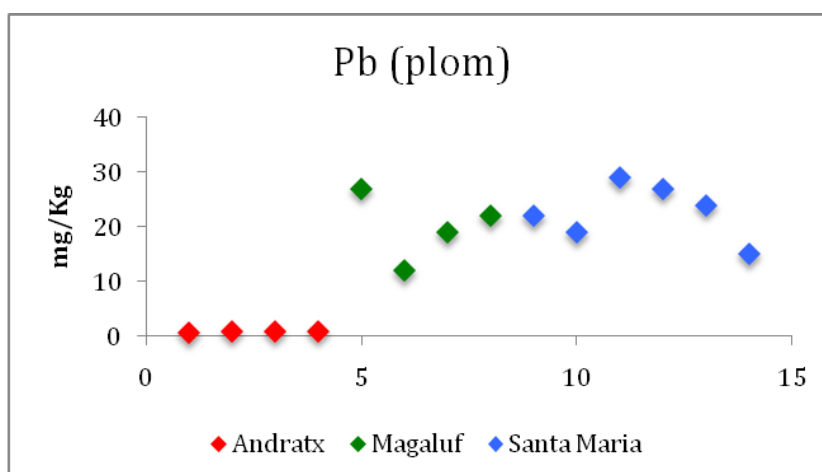
Il·lustració 2. Concentració de Cadmi (mg/Kg de pes sec) per a cada individu de *P. nobilis* de cada lloc d'estudi (Andratx, Magaluf, badia de Santa Maria)



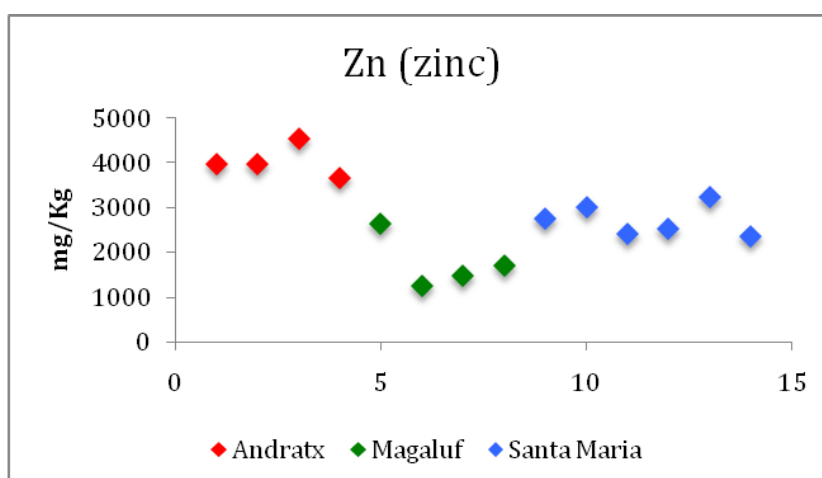
Il·lustració 3. Concentració de Coure (mg/Kg de pes sec) per a cada individu de *P. nobilis* de cada lloc d'estudi (Andratx, Magaluf, badia de Santa Maria)



Il·lustració 4. Concentració de Mercuri (mg/Kg de pes sec) per a cada individu de *P. nobilis* de cada lloc d'estudi (Andratx, Magaluf, badia de Santa Maria)



Il·lustració 5. Concentració de Plom (mg/Kg de pes sec) per a cada individu de *P. nobilis* de cada lloc d'estudi (Andratx, Magaluf, badia de Santa Maria)



Il·lustració 6. Concentració de Zinc (mg/Kg de pes sec) per a cada individu de *P. nobilis* de cada lloc d'estudi (Andratx, Magaluf, badia de Santa Maria)

Es pot veure que tres dels metalls estudiats (cadmi, mercuri i plom) segueixen una mateixa tendència, tot i que amb valors de concentracions diferents, i trobem els valors més alts a la badia de Santa Maria, Cabrera, per a aquests metalls. No obstant, el coure i el zinc es comporten de manera diferent, trobant les majors concentracions de coure a les mostres de Magaluf i les majors concentracions de zinc a les mostres d'Andratx.

S'han comparat les concentracions totals dels metalls pesats estudiats i s'han comparat amb els valors d'altres extraient les dades de la bibliografia existent, i a més, s'han utilitzat aquestes dades per avaluar l'eficiència de bioacumulació dels cinc metalls analitzats als teixits de *Pinna nobilis* per mitjà del Factor d'Acumulació Bio-sediment (BSAF), com es mostra a la següent taula (taula 5):

Taula 5. Concentracions de metalls (mg/Kg de pes sec), valors mitjans, index de contaminació per metalls (MPI) i factor d'acumulació bio-sediment (BSAF) a *P. nobilis* -: sense dades.

^a= sediment vaules mean of Cabrera by Tovar et al. 2010

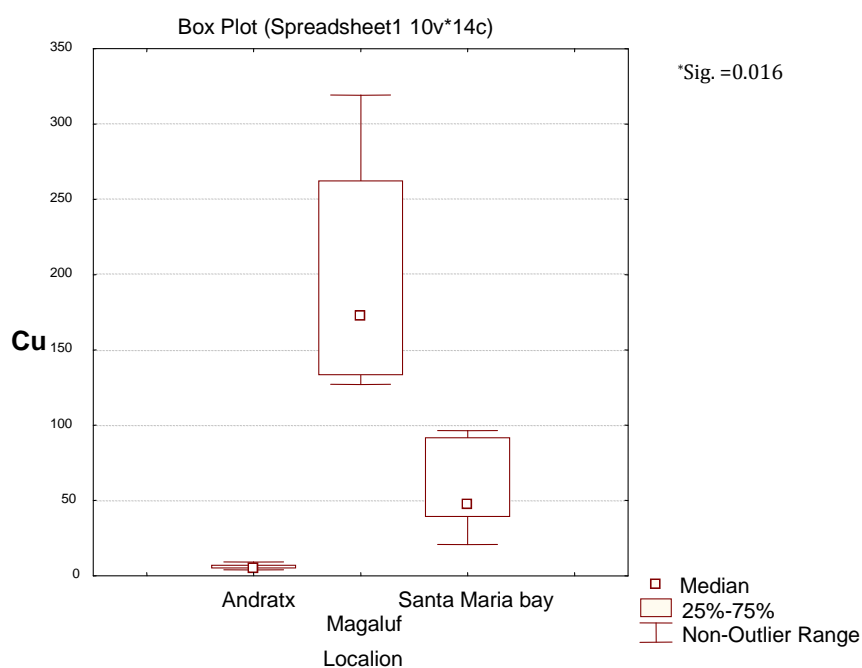
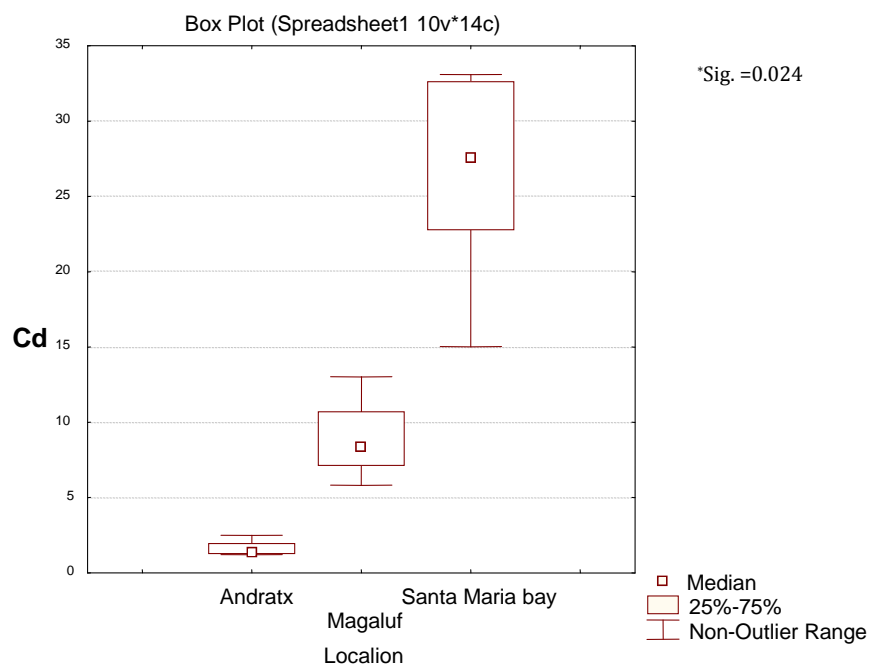
^b= sediment vaules of Santa Ponça by Ballesteros et al. 2007

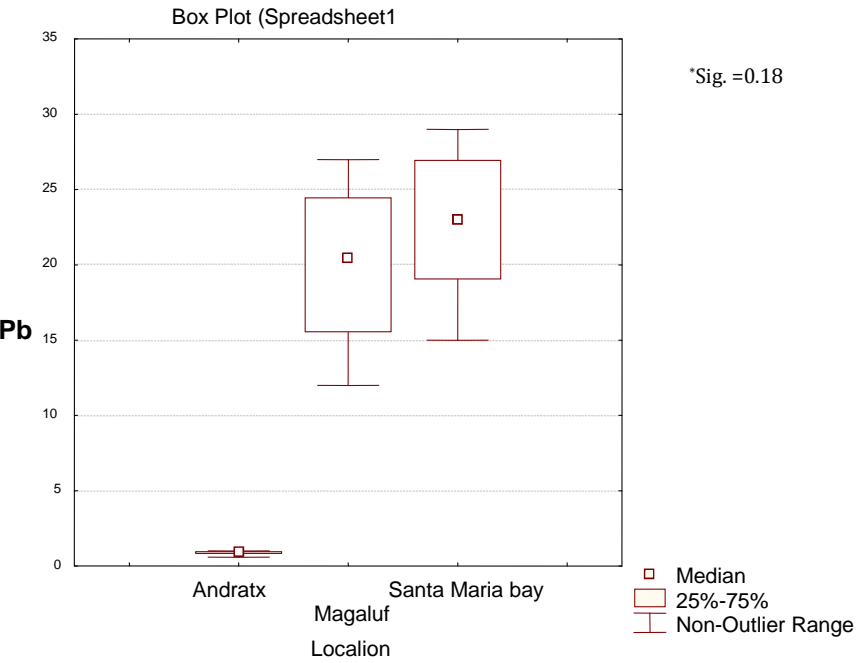
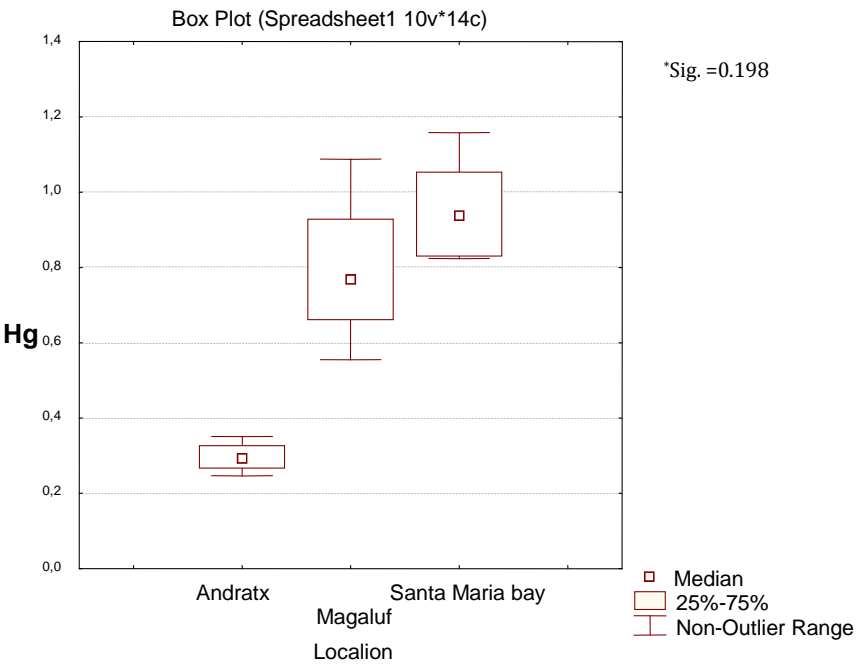
lloc	Element					MPI
	Hg	Pb	Cd	Cu	Zn	
Andratx	0,283	0,58	2,5	5,2	3974	6,10488
	0,351	1	1,24	5,7	3964	6,28851
	0,247	1	1,21	4,1	4529	5,60859
	0,306	1	1,5	9,2	3670	6,88737
	mitjana	0,30	0,90	1,61	6,05	4034,25
	BSAF	-	-	-	-	-
Magaluf	1,088	27	13,0 3	319,2	2631	50,28335
	0,555	12	5,82	138,9	1244	23,18377
	0,764	19	8,49	127,1	1477	29,70682
	0,773	22	8,33	206,2	1700	34,60963
	mitjana	0,795	8,91 75	197,85	1763	
	BSAF ^a	26,50	81,0 7	85,65	243,51	
Badia de Sta. Maria	0,98	22	22,7 3	50,8	2740	36,87844
	0,828	19	24,9 8	44,3	3004	34,97003
	0,899	29	32,6 6	96,5	2398	45,59425
	1,158	27	33,1	92,1	2520	47,43644
	1,055	24	30,1 1	38,9	3224	39,45516
	0,824	15	15,0 3	20,9	2364	24,69188
	mitjana	0,96	26,4 4	57,25	2708,33	
	BSAF ^b	12,99	40,0 5	19,34	99,42	

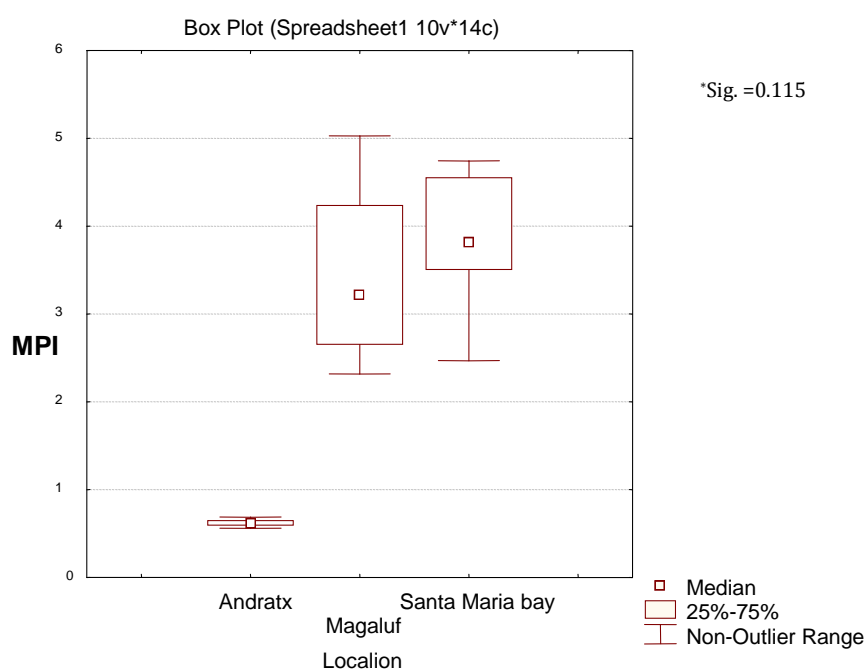
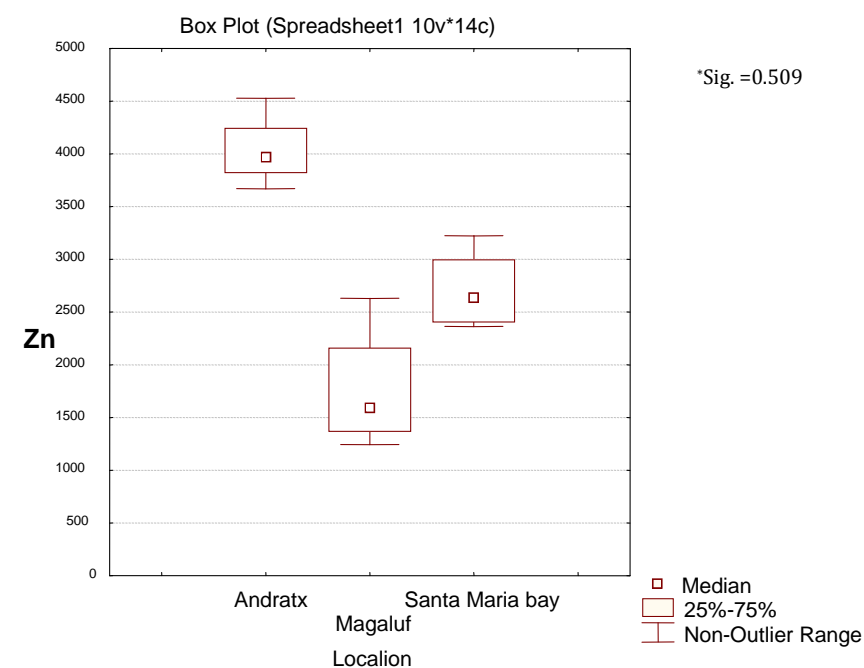
Zn (zinc), Cu (coure) i Cd (cadmi) són els metalls amb el BSAF en mitjana més alta de les dues localitats (Magaluf i badia de Santa Maria), mentre que el metall amb el BSAF més baix és Pb (plom).

No s'ha pogut obtenir el factor d'acumulació de bio-sediment del lloc d'estudi Andratx per falta de dades de concentracions del cinc metalls analitzats a aquesta zona. No obstant seria desitjable poder comparar aquest factor per a les tres zones d'estudi i així determinar la bioacumulació que presenta *P. nobilis* en front del contingut sedimentari de metalls pesats.

S'han elaborat diagrames de caixa per il·lustrar i comparar les concentracions de metalls pesats als tres lloc d'estudi (Andratx, Magaluf i badia de Santa Maria) de manera gràfica, on es pot observar la distribució de concentracions per cada un dels metalls i per el MPI:







Il·lustració 7. Diagrames de caixa de la concentració de metalls pesats (Cd, Cu, Hg, Pb i Zn en mg/Kg de pes sec) i Índex de Contaminació per Metalls (MPI) (mitjana \pm S.D., 25%-75%) en relació a les localitats de mostreig per als teixits blans de *P. nobilis*.

Com es pot observar, de la mateixa manera que a les gràfiques anteriors, els diagrames de caixa mostren tres tipus de bioacumulació en les concentracions dels diferents metalls als teixits blans de *P. nobilis*: el cadmi (Cd), mercuri (Hg) i plom (Pb) presenten concentracions prou baixes a les mostres d'Andratx, i valors alts a les mostres de la badia de Santa Maria.

El contingut de metalls del bivalve *P. nobilis* s'ha comparat amb els resultats publicats d'altres autors que estudien els bivalves de diferents àrees del món, i amb valors de *Posidonia oceanica* i sediment de les Illes Balears, a fi d'establir valors de referència que permetin avaluar l'estat ambiental de les poblacions de les tres localitats, com es mostra a la següent taula de valors:

Taula 6. Mitjana (mínim i màxim per a les dades disponibles) concentració de metalls pesats a invertebrats marins, *P. oceanica* i sediment (en mg/Kg o ppm de pes sec). Elaboració pròpia.

Espècie	Localitat	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	MPI	Ref.
<i>Pinna nobilis</i>	Andratx	1,613 (1,21-2,5)	6,05 (4,1-9,2)	0,297 (0,25-0,35)	0,895 (0,58-1)	4034,25 (3670-4529)	6,222	Aquest treball
	Magaluf	8,918 (5,82-13,03)	197,85 (127,1-319,2)	0,795 (0,56-1,09)	20 (12-27)	1763 (1244-2631)	34,446	Aquest treball
	Santa Maria	26,435 (15,03-33,1)	57,25 (20,9-96,5)	0,957 (0,82-1,16)	22,66 (15-29)	2708,33 (2364-3224)	38,171	Aquest treball
	Corsica		0,100			4,100		Mathew et al. 1996
<i>Pinna attenuata</i>	Minamata bay, Japan			(11-25)				Matida & Kumada, 1969
<i>Pinna bicolor</i>	Australia, south	1,080 (0,38-3,47)	1,400 (0,4-4,04)	0,038 (0,005-0,098)	1,220 (0,01-7,74)	655,500 (125,3-2769,1)	2,150	Corbin & Wade, 2004
	Australia, south	0,365	1,900		0,810	75,000		Maher 1985
	Vietnam	107	88,000		56	799,000		Khristoforova et al. 2007
<i>Pinna muricata</i>	United Arab Emirates	10,700	19,400	0,207	1,230	1830,000	9,934	Mora et al. 2004
	Ile d'Ambre, Mauritius			9,970				Daby, 2005
<i>Pinna rugosa</i>	Mexico (Sonora)	2,5025	2,1	0,0266	<D.L.	19,5075		García-Hernández et al. 2005
<i>Pinna vexillum</i>	Vietnam	17,3	14,5		4,24	1264		Khristoforova et al. 2007
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Maó	0,660	21,200	0,780	9,980	124,500	6,706	Deudero et al. 2007
	Spain south	0,600	5,450	0,150	2,450	216,000	3,040	Benedicto et al. 2003
	France-Mediterranean	0,870	7,300	0,180	3,240	155,000	3,563	RNO 1991
	France-Mediterranean	0,900	5,900	0,100	2,620	153,300	2,923	RNO 2000
	France-Mediterranean	1,200	4,100	0,200	1,800	123,300	2,937	Andral et al. 2001
	Atlantic France	1,170	7,300	0,130	2,300	94,000	2,993	RNO 1991
	Atlantic France	0,900	7,200	0,100	2,180	113,400	2,760	RNO 2000
	Mancha Chanel France	1,100	6,700	0,100	1,610	79,800	2,485	RNO 2000
	Alcudia	3,008	5,150	0,256	2,307	238,500	4,653	Deudero et al. 2009
	Santa Maria	2,470	4,560	0,213	2,306	289,500	4,374	Deudero et al. 2009

	Cala d'Or	3,374	4,495	0,206	1,816	233,000	4,210	Deudero et al. 2009
	Ciutadella	3,310	5,115	0,204	2,229	238,000	4,494	Deudero et al. 2009
	Eivissa	2,791	4,860	0,188	2,101	274,500	4,300	Deudero et al. 2009
	Espardell	3,212	4,660	0,245	3,212	251,000	4,945	Deudero et al. 2009
	Fornells	3,252	4,915	0,194	3,252	220,500	4,671	Deudero et al. 2009
	Maó	2,965	4,675	0,181	2,965	223,000	4,405	Deudero et al. 2009
	Palma	1,556	4,620	0,158	3,345	154,500	3,579	Deudero et al. 2009
	Porto Colom	2,721	4,645	0,194	2,046	230,500	4,098	Deudero et al. 2009
	Sant Antoni	2,792	4,735	0,181	2,479	225,000	4,218	Deudero et al. 2009
	Santa Eulalia	2,699	4,445	0,219	2,135	227,500	4,180	Deudero et al. 2009
	Santa Ponsa	2,460	4,295	0,190	2,113	226,500	3,949	Deudero et al. 2009
	Sóller	2,535	5,190	0,190	2,291	229,000	4,203	Deudero et al. 2009
	Trebelutja	3,229	5,060	0,237	1,896	251,500	4,501	Deudero et al. 2009
	Morocco	7,200	7,300	0,600	9,600	292,000	9,756	Maanan, 2008
<i>Paracentrotus lividus</i>	Palma	0,670	4,900	0,140	3,000	40,300	2,233	Deudero et al. 2007
	Apulian coast, Italy	0,240	5,190	1,000	0,860	157,130	2,788	Storelli et al. 2001
<i>Lithophaga lithophaga</i>	Maó	2,210	14,900	0,230	9,200	212,200	6,823	Deudero et al. 2007
	Palma	1,730	18,400	0,250	7,900	341,900	7,353	Deudero et al. 2007
<i>Venus verrucosa</i>	Maó	1,230	22,600	0,620	7,100	88,100	6,405	Deudero et al. 2007
<i>Chamelea gallina</i>	Palma	0,990	22,000	0,260	3,300	90,700	4,424	Deudero et al. 2007
		0,150	3,480	0,040	0,520	14,300	0,689	Deudero et al. 2007
		0,335	37,745	0,045	1,269	72,364	2,210	Usero et al. 2005
<i>Ostrea edulis</i>	Maó	1,290	451,700	0,920	7,500	1458,200	22,575	Deudero et al. 2007
<i>Donax trunculus</i>	southern Spanish Atlantic	0,186	174,909	0,119	3,664	106,545	4,326	Usero et al. 2005
<i>Posidonia oceanica</i>	Cosican coastline	2,350		0,050	1,710			Lafabrie et al. 2008
	Cabrera	4,05	11,790	0,225	0,540	51,880	3,131	Tovar et al. 2007-2010
		1	14,000		4,1	65,000		Tovar et al. 2007-2010
	Sta. Maria	0,76	7,33		1,28	27,67		Marbà et al. 2007
	Sta. Maria	0,6	6,85		0,98	38,4		Marbà et al. 2007
	Magaluf	0,54	11,32		2,25	34,48		Marbà et al. 2007
	Magaluf	0,57	10,87		3,58	59,23		Marbà et al. 2007
	Sta. Maria	0,6	6,85		0,92	38,4		Marbà et al. 2007
	Magaluf	0,57	10,87		3,58	59,23		Marbà et al. 2007
<i>Sediment</i>	Cabrera	0,66	2,96	0,0737	2,77	27,24	1,611	Tovar et al. 2007-2010
	Palma bay	0,52	4,17	0,3899	19,44	30,8	3,474	Tovar et al. 2007-2010
	port	0,07	1,98	0,02	6,44	7,61	0,671	Ballesteros et al. 2007
	L'Olla	0,07	0,58	0,02	2,27	4,79	0,388	Ballesteros et al. 2007

Es Blanquer	0,24	3,78	0,02	3,2	10,83	0,911	Ballesteros et al. 2007
Sant Elm	0,1	1,52	0,05	5,18	9,18	0,816	Ballesteros et al. 2007
Camp de Mar	0,09	1,61	0,04	4,41	9,41	0,752	Ballesteros et al. 2007
Santa Ponça	0,11	2,31	0,03	3,5	7,24	0,720	Ballesteros et al. 2007
Palma bay	0,09	1,28	0,04	3,49	5,83	0,623	Ballesteros et al. 2007

Tenint en compte el contingut de metalls analitzats en aquest treball (Cd, Cu, Hg, Pb i Zn), en l'escala del Mar Mediterrània, els nivells de contaminació per metalls pesats, comparats a partir dels valors obtinguts per el MPI, es troben generalment en el rang dels valors més alts disponibles a la literatura ressaltats en negreta a la taula anterior (Mora et al., 2004; Deudero et al., 2007; Maanan, 2008), excepte la localitat d'Andratx (taula 6).

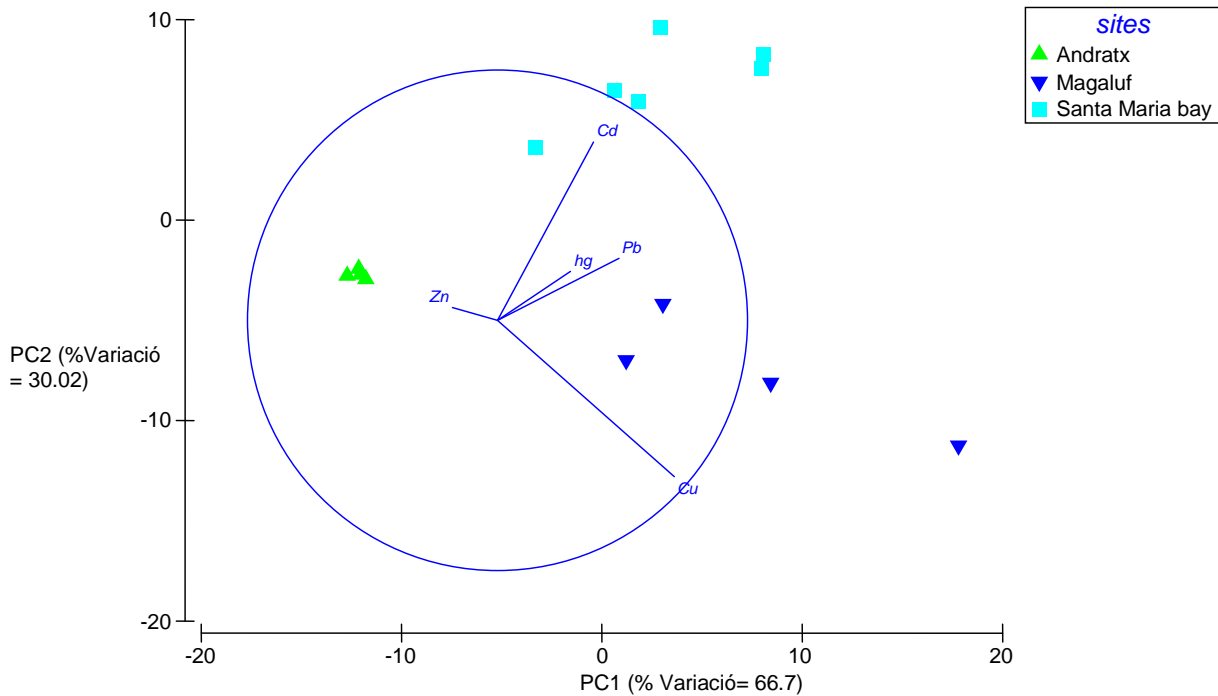
L'índex de contaminació per metalls (MPI) aconsegueix el valor màxim per a la localitat 3 (badia de Santa Maria), fet que es pot explicar degut a que s'hi han trobat les majors concentracions de tres metalls (Cd, Pb i Zn) dels cinc considerats.

Per analitzar les diferències entre les variacions de concentració dels metalls pesats estudiats als teixits blans de *P. nobilis* s'ha realitzat una ANOVA (Anderson, 2001) d'un factor (one way analysis of variance):

Taula 7. ANOVA d'un factor per als cinc metalls (Cd, Cu, Hg, Pb i Zn) analitzats al teixits blans de *P. nobilis*. * $p < 0.01$

ANOVA de un factor						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
hg	Inter-grupos	1,077	2	,538	24,803	0,001*
	Intra-grupos	,239	11	,022		
	Total	1,316	13			
pb	Inter-grupos	1241,915	2	620,958	27,163	0,001*
	Intra-grupos	251,466	11	22,861		
	Total	1493,381	13			
cd	Inter-grupos	1643,305	2	821,653	33,384	0,001*
	Intra-grupos	270,733	11	24,612		
	Total	1914,038	13			
cu	Inter-grupos	80425,074	2	40212,537	15,847	0,001*
	Intra-grupos	27913,215	11	2537,565		
	Total	108338,289	13			
zn	Inter-grupos	10441304,845	2	5220652,423	27,356	0,001*
	Intra-grupos	2099246,083	11	190840,553		
	Total	12540550,929	13			

El PCA (Anàlisi de Components Principals) de totes les variables revela la contribució d'aquestes variables analitzades entre els llocs de d'estudi:



Il·lustració 8. Anàlisi de components principals (PCA) de tots els metalls entre els llocs d'estudi (Andratx, Magaluf i badia de Santa Maria)

Es pot observar a la gàfica que els dos primers components expliquen gairebé la totalitat de la distribució: el PC1 explica el 66.7% de la variació i el PC2 el 30.2 % de la variació, sumant més del 95%. Per tant no s'han graficat els altres components. A més, ja s'intueix quin metall contribueix en major mesura a cada lloc d'estudi, tot i que per a comprovar aquest fet s'ha realitzat un anàlisi SIMPER que es detalla més avall. A més, es pot veure la dispersió de les dades, sent les dades d'Andratx bastant homogènies i les de Magaluf bastant heterogènies.

Per a determinar quins metalls pesats contribueixen més a cada grup de mostres de *P. nobilis* s'ha realitzat l'anàlisi SIMPER (Similarity percentages-species contributions) de les dades ambientals estudiades.

Aquest anàlisi revela el percentatge de similaritat entre les diferents variables de les mostres de cada lloc d'estudi:

SIMPER -Similarity Percentages - species contributions. (One-Way Analysis)

Grup Andratx

Average squared distance = **1.15**

Taula 8. SIMPER per a les mostres d'Andratx, revela els percentatges de contribució de cada metall pesat.

Species	Av.Value	Av.Sq.Dist	Contrib%	Cum.%
Pb	0.408	9.15E-3	0.80	0.80
Cu	0.522	3.61E-2	3.15	3.94
Cd	0.803	9.11E-2	7.93	11.87
Hg	2.93	0.186	16.15	28.02
Zn	10.2	0.827	71.98	100.00

Grup Magaluf

Average squared distance = **75.24**

Taula 9. SIMPER per a les mostres de Magaluf, revela els percentatges de contribució de cada metall pesat.

Species	Av.Value	Av.Sq.Dist	Contrib%	Cum.%
Cd	4.44	2.24	2.97	2.97
Zn	4.47	2.38	3.16	6.13
Hg	7.86	4.72	6.28	12.41
Pb	9.11	8.16	10.84	23.25
Cu	17.1	57.7	76.75	100.00

Grup badia de Santa Maria

Average squared distance = **26.96**

Taula 10. SIMPER per a les mostres de la badia de Santa Maria, revela la contribució de cada metall pesat.

Species	Av.Value	Av.Sq.Dist	Contrib%	Cum.%
Zn	6.87	0.778	2.88	2.88
Hg	9.47	1.73	6.40	9.29
Pb	10.3	5.53	20.52	29.80
Cu	4.94	6.88	25.53	55.33
Cd	13.2	12	44.67	100.00

Es pot veure que les concentracions de metalls pesats dels teixits blans dels individus de *P. nobilis* d'Andratx revelen el major percentatge de similaritat entre les mostres i el zinc (Zn) és el metall que explica la contribució més alta amb un 71.98% mentre que el plom (Pb) és el més baixa amb un 0.80%. Els percentatges de contribució de les mostres de Magaluf indiquen que el metall que explica millor la contaminació per metalls pesats d'aquest lloc d'estudi és el coure (Cu) amb un 76.75%, i és al lloc on trobem menor similaritat entre els individus analitzats dels tres llocs d'estudi. I els anàlisis de metall pesats de la badia de Santa Maria mostren que el metall que contribueix més a la similaritat de les mostres és el cadmi (Cd) amb un 44.67%, tot i que el coure (Cu) i el plom (Pb) n'expliquen conjuntament un 46.05%.

En aquest cas, l'anàlisi SIMPER ens mostra la disimilaritat entre les diferents mostres comparant dos dels llocs analitzats entre ells, i ressaltant el metall que contribueix més a aquesta disimilaritat:

Grups Andratx & Magaluf

Average squared distance = 477.50

Taula 11. SIMPER per a les mostres d'Andratx i Magaluf conjuntament.

Variable	Contrib%	Cum.%
Cu	66.42	66.42
Pb	17.14	83.56
Zn	7.45	91.00

Groups Andratx & Santa Maria bay

Average squared distance = 348.06

Taula 12. SIMPER per a les mostres d'Andratx i badia de Santa Maria.

Variable	Contrib%	Cum.%
Cd	46.84	46.84
Pb	29.57	76.41
Hg	12.72	89.13
Cu	7.26	96.39

Groups Magaluf & Santa Maria bay

Average squared distance = 311.99

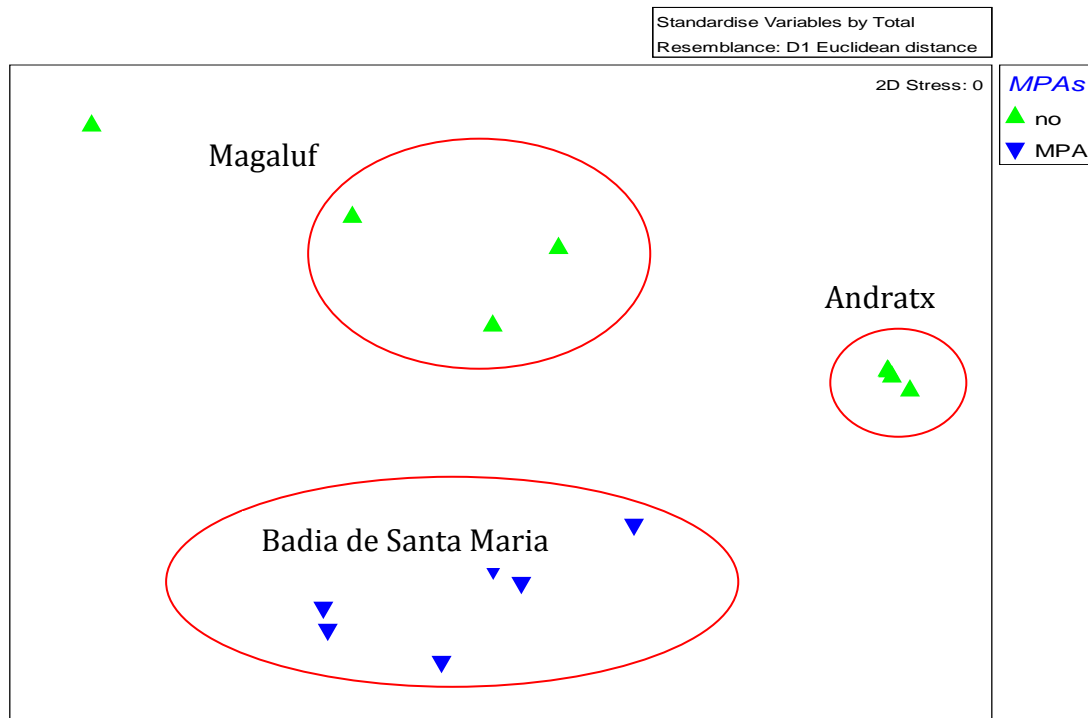
Taula 13. SIMPER per a les mostres de Magaluf i badia de Santa Maria.

Variable	Contrib%	Cum.%
Cu	62.88	62.88
Cd	28.16	91.05

Quan es comparen les mostres de els llocs d'estudi Andratx i Magaluf conjuntament el metall que explica la disimilaritat en gran mesura és el coure (Cu) amb un 66.42 % de contribució a aquesta divergència entre llocs, seguit del plom (Pb) i el zinc (Zn) amb unes contribucions del 17.14% i 7.45% respectivament que expliquen més del 90% dels casos. En canvi, quan s'analitzen els metalls que generen una major disimilaritat entre els lloc d'estudi Andratx i badia de Santa Maria el metall que té una major contribució és el cadmi (Cd) amb un 46.84%, seguit del plom (Pb), el mercuri (Hg) i el coure (Cu) amb contribucions del 29.57%, 12.72% i 7.26 % respectivament que expliquen més del 95% de les diferències entre els dos grups de mostres. I, per el contrari, el coure (Cu) explica en un 62.88% la disimilaritat de les mostres dels llocs d'estudi Magaluf i badia de Santa maria conjuntament, seguit del cadmi (cd) amb un 28.16%, que junts expliquen més del 90% de les disimilaritats.

Per tant, les concentracions obtingudes dels teixits blans de *P. nobilis* de coure (cu) i de cadmi (Cd) són les que més contribueixen a la disimilaritat entre els diferents llocs d'estudi d'aquest treball.

També s'ha volgut analitzar la influència de la protecció de la localitat estudiada per a veure si es tracta d'un factor determinant en la distribució de les concentracions de metalls pesats; per la qual cosa s'ha utilitzat el mètode MDS (Non-metric multi-dimensional scaling) on es pot observar (il·lustració 9) com els individus estudiats es diferencien clarament entre zona protegida (badia de Santa Maria) i les dues localitats no protegides (Andratx i Magaluf):



Il·lustració 9. MDS per a el tres conjunts de mostres diferenciats entre AMP (àrea marina protegida- badia de Santa Maria) i no (espai no protegit- Andratx i Magaluf)

S'han diferenciat les mostres, encerclades en vermell, a partir dels resultats obtingut amb l'anàlisi CLUSTER, de tal manera que s'ordenin les mostres en grups amb un grau de similitud més fort que el de el grau de similitud entre membre de diferents grups.

A més, s'ha volgut comprovar si la talla de les nacs és un factor que pugui afectar a la concentració de metalls pesats als teixits blans, ja que els individus seleccionats son de talles similars però, per la complexitat del medi de mostreig i per la biologia de l'espècie no es poden tenir rèpliques exactes en mida i edat per a evitar que els resultats no siguin comparables entre ells. El conjunt d'individus de *P. nobilis* analitzats tenen una amplada màxima (valva2) mitjana de $18,42 \pm 2,73$ (S.D.) cm, i no s'ha trobat diferències significatives en la relació entre la concentració de metalls pesats i l'amplada màxima de les valves dels individus analitzats.

5. Discussió

El present estudi demostra la variació de concentracions de metalls pesats a mostres de teixits blans de *P. nobilis* mostrejats a diferents localitats de les Illes Balears. A més, els nostres resultats són una font fiable per estudiar la variació de concentracions de metalls pesats i la bioacumulació d'aquests en teixits blans de *P. nobilis*.

Tot seguit es detallen un conjunt de consideracions envers els resultats obtinguts en aquest estudi:

- Aquest estudi ha analitzat per primera vegada, i de manera comparativa, les concentracions de metalls pesats en *Pinna nobilis* a les Illes Balears, per la qual cosa aporta dades de referència per a futurs estudis i avaluacions de l'estat ambiental de les poblacions de *P. nobilis*.
- La informació extreta d'aquest estudi pot ser d'ajuda per respondre a les necessitats de gestió per a l'espècie objecte d'estudi i per a una avaluació de la presència de contaminants (metalls pesats) al medi marí.
- Els resultats mostren que a l'àrea marina protegida, Parc Nacional Marítim-Terrestre de l'Arxipèlag de Cabrera, és on els individus mostrejats han bioacumulat major concentració de metalls pesats en comparació amb els altres dos llocs d'estudi (Andratx i Magaluf), ambdós espais amb una gran influència antròpica i on s'esperaria trobar els nivells més alts. Així, a la badia de Santa Maria, que és una reserva integral dins d'un Parc Nacional on està prohibida qualsevol activitat fora de tasques científiques i vigilància, s'hi ha trobat valors de metalls pesats conjuntament (MPI) de 38.17 mg/Kg, els valors més elevats trobats a la bibliografia consultada sobre bivalves.
- Les elevades densitats d'individus adults de *P. nobilis* presents a la reserva integral de la badia de Santa Maria podrien indicar que la forta bioacumulació que s'observa als resultats obtinguts no afecta al fitness biològic de l'espècie.
- Els valors més elevats de zinc a les mostres d'Andratx i de coure a les mostres de Magaluf podrien estar relacionats amb la singularitat de cada lloc, ambdues zones fortament antropitzades.
- En aquest estudi les diferències en concentració de metalls pesats a causa del lloc d'estudi evidencien que les fonts de contaminació per metalls a cada zona tenen un origen diferent, tot i que no s'ha pogut determinar. No obstant, Andral et al. (2011) han estudiat l'espècie *M. galloprovincialis* evidenciant l'existència d'una cinètica de bioacumulació diferent degut a una baixa disponibilitat d'aliments que permetria una major biomagnificació de metalls pesats, i això es pot relacionar amb els resultats isotòpics obtinguts per Alomar & Deudero (2012) que revelen valors baixos de nitrogen a la badia de Santa Maria en front de valors més alts als altres llocs d'estudi.

- Segons observacions personals del grup existeixen evidències de respostes histològiques observades al hepatopàncrees (dades sense publicar) dels individus de la badia de Santa Maria que es solen relacionar amb l'existència de metalls pesats disponibles.
- A nivell Europeu existeix una legislació específica (European Communities, 2011) per al contingut de metalls pesats a mol·luscs bivalves de consum, que estableix les concentracions màximes permissibles per a tres metalls (Cd: 1.0 mg/Kg, Hg: 0.5 mg/kg, i Pb: 1.5 mg/Kg de pes humit) dels 5 estudiats (Cd, Cu, Hg, Pb i Zn) però *P. nobilis* no és un espècie consumida per la qual cosa no s'han establert llindars per a cap metall. Aquest fet fa que no existeixin valors de referència o límits per a determinar el grau de contaminació dels individus d'aquesta espècie, tot i que analitzant els resultats del present estudi s'arriba a la conclusió de la necessitat de que aquests llindars existeixin més enllà de les espècies comercials. Cal afegir que *P. nobilis* estaria actuant com a espècie sentinella i per tant ens dona informació de l'estat de salut del seu hàbitat.
- S'han d'analitzar els impactes antròpics del Parc Nacional Marítim-Terrestre de l'Arxipèlag de Cabrera per intentar esclarir el motiu o conjunt de factors que puguin explicar els valors de metalls pesats trobats als teixits blans de *Pinna nobilis*. No obstant, el Parc Nacional es troba en una zona del Mediterrani occidental lliure de contaminació directa ja que no presenta rius i no hi ha vessaments industrials, per la qual cosa Tovar et al. (2010) argumenta que l'origen del deteriorament de la qualitat de l'aigua i els sediments s'atribueix a tant a l'activitat present (aport d'aigües enriquides amb nutrients i trànsit marítim) com als usos del passat (militar i agrícola). A més sembla que els valors elevats de metalls pesats als individus de *P. nobilis* de la badia de Santa Maria podrien estar relacionats amb el fet de que a les badies i cales, en les que la renovació de les aigües és més lenta, els efectes de les substàncies contaminants són més evidents (Vila et al. 2001).
- Actualment, i des de l'any 1987, no s'efectuen exercicis de tir sobre l'arxipèlag de Cabrera, però anteriorment es desenvolupaven exercicis militars amb foc real (segons articles de premsa consultats) al voltant dels illots utilitzats com a blanc. Aquesta suspensió de les maniobres militars es basà en un estudi del CSIC en el que es destacava l'alt valor ecològic de l'arxipèlag (i en la pressió popular del moment).
- Segons el llibre Història natural de l'Arxipèlag de Cabrera (Alcover & Ballesteros, 1993), ja a l'any 1979 es trobaren concentracions, tot i que baixes, de mercuri a ous de gavina corsa (*Larus audouinii*) relacionats amb els efectes de les maniobres militars amb foc real efectuades sobre determinats illots (Bijleveld et al., 1979). A més, existeixen registres de la gran quantitat de restes de municions de diferents tipus presents al fons marí al voltant dels illots utilitzats com a blanc, com ara projectils de 126 mm d'artilleria naval, bales de canyó de 7 o 8 cm, granades contra-carro, obusos, o bales d'ametralladora lleugera o fusil.

- Existeix bibliografia que relaciona l'elevada concentració de metalls pesats amb llocs que han estat objecte de maniobres militars o abocadors d'artilleria i bombes; segons Della Torre et al. (2010) des de fa dècades s'han anat abocant al mar municions obsoletes i material de guerra de tota mena, i en l'estudi realitzat sobre dues espècies de peixos s'han trobat valors mitjans alts de mercuri al múscle (1.53 mg/Kg de pes humit a *Conger conger* i 2.23 mg/Kg de pes humit a *Helicolenus dactylopterus*) relacionats probablement degut al mercuri utilitzat com a detonador de bombes. I, al Sud-Est del Mar Adriàtic s'ha estudiat (Amato et al., 2006) l'amenaça dels agents químics i altres contaminants derivats de bombes als ecosistemes marins arribant a la conclusió de que presumiblement el gran nombre de lesions histològiques registrats en dues espècies de peixos estan relacionats amb els agents derivats de les bombes presents als fons marí. Per la qual cosa sembla important analitzar el fons marí de l'Arxipèlag de Cabrera i el possible impacte difús de les restes de munició i bombes presents al seu fons.

Capítol III. Mesures de gestió: experiència pilot d'assentament larvari i sembra de juvenils de *Pinna nobilis*

1. Introducció

Els invertebrats marins bentònics s'assenten al medi mitjançant un procés complexa ja que el seu únic mecanisme de dispersió és mitjançant l'alliberació de larves al medi, i per a estudiar aquest procés d'assentament larvari s'han utilitzat sovint estructures artificials (Deudero & Cabanellas-Reboredo, 2008).

La nacra (*P. nobilis*) és una espècie hermafrodita (De Gaulejac, 1995), amb desenvolupament inicial de la fase masculina i desenvolupament femení posterior, i la seva reproducció es produeix principalment a l'estiu, entre els mesos de març i setembre; després de la fresa es produeix la fecundació externa i les larves durant uns 5 a 10 dies vagaran per la columna d'aigua fins a fixar-se posteriorment al fons. No obstant es té coneixement de que es produeixen dos pics de reclutament anuals, un a l'estiu (juny-juliol) i un altre a l'hivern (observació personal). I, les larves tenen una vida lliure nedadora, després de la qual es fixen al fons, esdevenint exemplars juvenils quan arriben a una mida d'uns 2 cm (Combelles et al. 1986)

Es tracta d'un bivalve de creixement bastant ràpid (Richardson et al., 1999; Richardson et al., 2004), especialment en l'etapa juvenil, arribant als 20 cm en dos anys (Richardson et al., 2004). La ràpida velocitat de creixement permet la realització d'aquesta prova pilot d'assentament larvari a dispositius artificials i la seva posterior sembra a indrets específics de comunitats de *P. oceanica* en un període de temps d'un any, tot i que es fa necessari un seguiment exhaustiu dels individus sembrats molt més prolongat, ja que l'espècie pot viure més de 20 anys (Moreteau & Vicente, 1982). Cal fer menció al fet que el reclutament d'aquesta espècie és un dels aspectes menys coneguts de la seva biologia (García-March & Vicente, 2006) i per tant el seu estudi requereix un gran esforç. A més, García-March (2005) i García-March & Márquez-Aliaga (2007) han comprovat que les taxes de creixement de *Pinna nobilis* varien en funció del lloc ja que depèn de les condicions ambientals principalment.

Donada la regressió que han patit les poblacions de *P. nobilis* les darreres dècades, s'han dut a terme esforços de reintroducció mitjançant la recollida d'individus de talla petita i mitjana a Còrcega (De Gaulejac & Vicente, 1990) i mitjançant la captació de larves a Port-Cros amb individus de Còrcega i de la Costa Brava (Vicente, 2003), tot i que el primer experiment de trasplantament de *P. nobilis* es va fer a Mar Adriàtic a l'any 1995 per Mihailinovic (García-March & Vicente, 2006). A les Illes Balears les poblacions d'aquesta espècie s'han vist força reduïdes i l'estricta protecció que ostenta fan necessaris estudis amb la finalitat de generar dades aplicables per a la gestió i conservació de *Pinna nobilis* i el seu hàbitat. Per altra banda, existeixen antecedents de l'ús de col·lectors d'assentament i reclutament de bivalves de la família Pinnidae (Narvaez et al., 200) a Veneçuela. A més, autors com Butler et al. (1993) argumenten que la curta vida planctònica pot afavorir una reduïda capacitat de dispersió i que per tant la recuperació

d'aquesta espècie a zones on no hi queden individus o individus reproductor pot esdevenir molt prolongada en el temps.

S'ha escollit l'Arxipèlag de Cabrera perquè posseeix uns dels fons aquàtics més ben conservats del Mediterrani, on destaquen les praderies de *Posidonia oceanica* conegudes pel seu valor ecològic (Marbà et al., 2002) i hàbitat principal de *P. nobilis* (Vicente, 1990; García-March, 2003; García-March, 2005), a més gràcies al projecte "Estado de conservación del bivalvo amenazado *Pinna nobilis* en el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera" (024/2010), "Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino" es té informació fiable de l'elevada densitat d'adults presents a les aigües de l'Arxipèlag de Cabrera.

Aquest capítol del treball de final del Màster APGAL té per objectius principals:

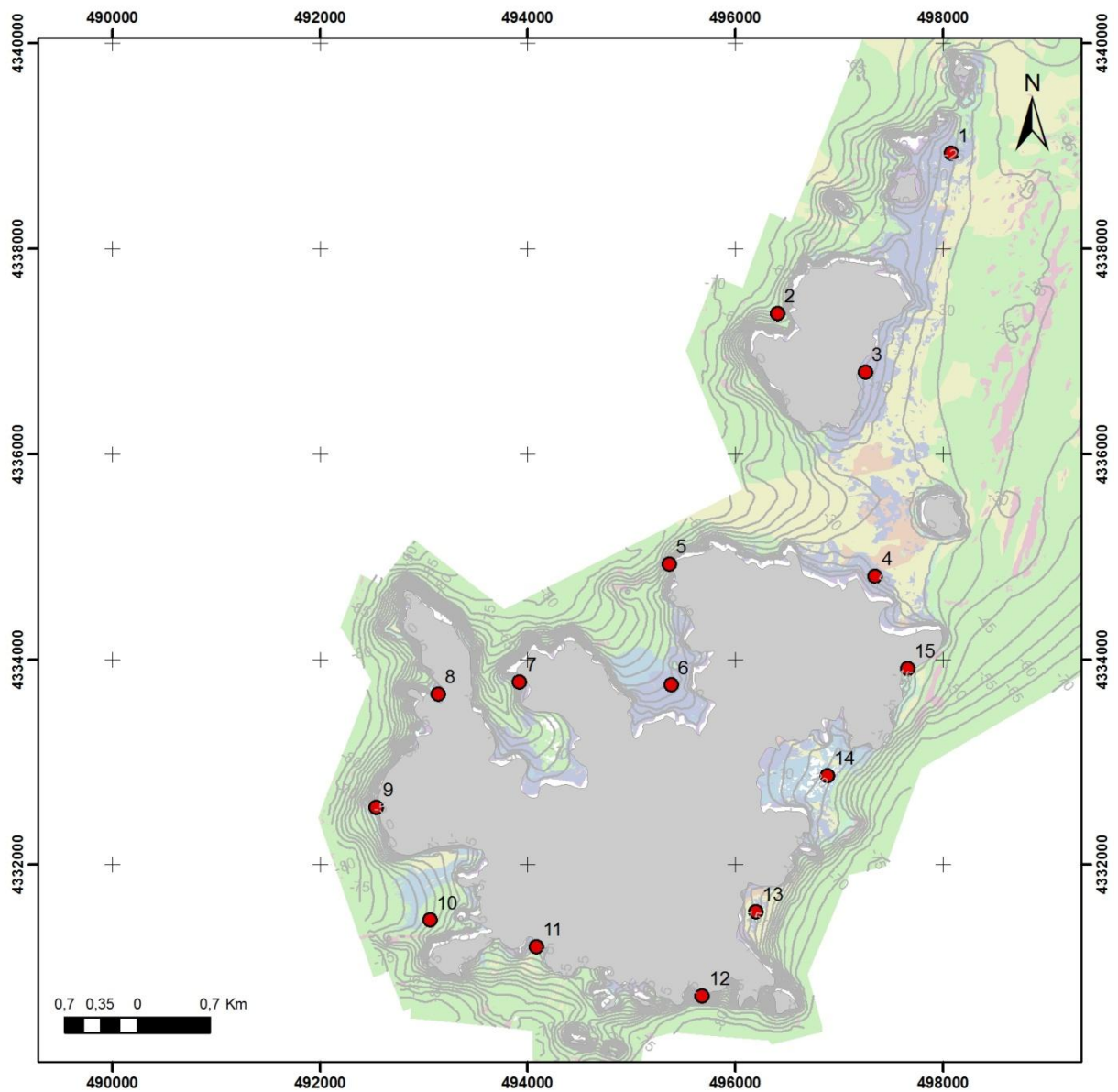
- Avaluar la viabilitat de la sembra de juvenils de *Pinna nobilis* a dues fondàries diferents, 10 i 20 m, a la badia de Santa Maria.
- Analitzar l'èxit de supervivència de la sembra de *Pinna nobilis* a diferents profunditats (10 i 20 metres) a la reserva integral de badia de Santa Maria al Parc Nacional de l'Arxipèlag de Cabrera.
- Quantificar in situ la taxa de creixement de les primeres fases del bivalve endèmic *Pinna nobilis*.

A més, com a objectiu secundari es vol validar el mètode d'assentament de larves a dispositius artificials per a l'espècie en qüestió. Els dispositius artificials utilitzats per a respondre els dos objectius es detallen en a l'apartat de material i mètodes, i han estat escollits perquè prèviament ha estat utilitzat en el mateix medi (praderies de *Posidonia oceanica*) i en una localitat pròxima (Reserva Marina de Badia de Palma) (Deudero & Cabanella-Reboredo, 2008).

2. Zona d'estudi

El Parc Nacional Marítim-Terrestre de l'Arxipèlag de Cabrera pertany a les Illes Balears i està format per una illa principal, Cabrera, sis illes menors i un conjunt d'illots, declarat Parc Nacional l'any 1991 (B.O.E. núm. 103, del 30 d'abril de 1991) amb 8.703 ha marines protegides.

A la següent imatge s'il·lustren els punts de mostreig, enumerats de l'1 al 15, on s'han fondejat els DAL (dispositius d'assentament larvari) per a *Pinna nobilis* a localitats prèviament determinades per la presència de Dispositius agregadors de postes de cefalòpodes (DACs) del Projecte CEFAPARQUES, de seguiment de les poblacions de cefalòpodes d'interès comercial del Parc Nacional Arxipèlag de Cabrera.



Il·lustració 10. Mapa de la disposició dels 15 Dispositius d'Assentament Larvari (DAL) fondejats a 5 metres de profunditat al voltant de l'Arxipèlag de Cabrera.

Taula 7. Posicionament i detalls dels col·lectors de *Pinna nobilis* localitzats a l'Arxipèlag de Cabrera.

Dispositius Assentament larvari(DAL)	ID DAC	Profunditat (m)	Tipus de fons	UTM
1	2	23.62	fanerògames	31 S 498079 4338930
2	4	46.12	roca	31 S 496408 4337370
3	6	6.12	fanerògames	31 S 497251 4336800
4	11	19.16	fanerògames	31 S 497346 4334810
5	12	22.26	roca	31 S 495363 4334930
6	14	23.31	fanerògames	31 S 495383 4333750
7	16	15.22	fanerògames	31 S 493921 4333780
8	17	10.00	arena	31 S 493140 4333660
9	19	15.08	roca	31 S 492543 4332560
10	22	45.19	roca	31 S 493060 4331460
11	23	17.94	arena	31 S 494083 4331200
12	25	40.88	fanerògames	31 S 495679 4330720
13	27	16.83	arena	31 S 496192 4331540
14	29	22.37	fanerògames	31 S 496882 4332870
15	30	14.71	roca	31 S 497656 4333910

S'han localitzat els dispositius d'assentament larvari (DAL) sobre els tres tipus de fons existents a l'Arxipèlag de Cabrera, praderies de *Posidonia oceanica*, roca i arena amb uns percentatges de 47 %, 33 %, i 20 % dels DAL respectivament, a partir de punts prèviament escollits per la presència de DACs.

Les bosses d'assentament larvari dels 15 dispositius artificials d'assentament larvari s'han fondejat sempre a 5 m de profunditat a la columna d'aigua, tot i que els DALs s'han localitzat entre les fondàries 6.12m i 46.12 m condicionats per la prèvia disposició dels DACs i per a tenir un ventall més ampli de recol·lecció de juvenils de *P. nobilis*.

3. Metodologia

Per a realitzar aquest capítol s'ha dut a terme un seguiment mensual durant 11 mesos dels dispositius d'assentament larvari (DAL) fondejats a l'Arxipèlag de Cabrera per tal de tenir un seguiment dels dispositius, evitar pèrdues, i en el cas de que ocorrin poder restaurar els DAL, gràcies al suport del Projecte CEFAPARQUES que treballa amb un vaixell oceanogràfic de l'IMEDEA.

Les sortides per a revisar els dispositius artificials han vingut condicionades en gran mesura per les condicions meteorològiques de cada mes. Es pot apreciar al cronograma de les tasques realitzades per a dur a terme aquest capítol que el mes de març de 2013 no s'efectuà cap revisió dels DAL, i això es deu a les adverses condicions meteorològiques que impediren. S'incorpora un cronograma de les activitats realitzades:

Taula 8. Cronograma de les activitats realitzades per a assolir l'objectiu del Capítol III: Mesures de gestió: experiència pilot d'assentament larvari i sembra de juvenils de *Pinna nobilis*.

Sortida al PN Cabrera	Data	Activitat realitzada
Sortida 1	20/06/12	Col·locació dels dispositius d'assentament larvari (DAL)
	25/06/12	
Sortida 2	01/08/12	Revisió DAL i reparació si escau
Sortida 3	30/08/12	Revisió DAL i reparació si escau
Sortida 4	02/10/13	Revisió DAL i reparació si escau
Sortida 5	30/10/12	Revisió DAL i reparació si escau
	06/11/12	
Sortida 6	12/12/12	Revisió DAL i reparació si escau
	13/12/12	
Sortida 7	08/01/13	Revisió DAL i reparació si escau
Sortida 8	21/02/13	Revisió DAL i sembra juvenils DAL 4 a 10 m de profunditat
Sortida 9	05/04/13	Revisió DAL i reparació si escau
Sortida 10	06/05/13	Revisió DAL i sembra juvenils restants a 10 i 20 m de profunditat

3.1. Assentament larvari

La nacra (*P. nobilis*) és una espècie hermafrodita, amb desenvolupament inicial de fase masculina i desenvolupament femení posterior, i la seva reproducció es produeix principalment a l'estiu, entre els mesos de març i setembre. Després de la fresa es produeix la fecundació externa i les larves durant uns 5 a 10 dies vagaran per la columna d'aigua fins a fixar-se posteriorment al fons. No obstant es té coneixement de que es produeixen dos pics de reclutament anuals, un a l'estiu (juny-juliol) i un altre al hivern (observ. personal).

Els dispositius d'assentament larvari foren dissenyats per la Dra. Salud Deudero i per Miguel Cabanellas en el context del Informe Acció Especial: Desarrollo de técnicas para evaluar juveniles del bivalvo endémico *Pinna nobilis* mediante dispositivos de asentamiento; i han estat fondejats i revisats mensulament als voltats del l'arxipèlag de Cabrera gràcies al suport logístic de l'IMEDEA.



Il·lustració 11. Popa del vaixell oceanogràfic de l'IMEDEA amb la que s'ha facilitat l'ajuda logística per a desenvolupar aquest capítol.

Aquests dispositius consisteixen en una estructura artificial col·locada al fons i fixada per un mort d'uns 30 kg, d'on s'hi subjecte una corda que arriba a superfície mitjançant una boia que li confereix flotabilitat. A aquesta corda s'hi fermen mitjançant brides unes bosses de reclutament conformades de malla i farcides amb una malla de diàmetre menor que augmenta la superfície de contacte per a la colonització de les larves que es troben a la columna d'aigua. Les bosses de reclutament es ferman a una profunditat de 5 m ja que segons l'estudi esmentat és a la fondària no hi va haver major reclutament.

Material:

- Corda on s'adhereixen les bosses d'assentament larvari per a que es mantinguin en suspensió a 5 m a la columna d'aigua.
- Boies per a donar flotabilitat positiva al DAL.
- Mort (uns 20-25 Kg) per fixar el DAL al fons. Fabricació pròpia per a major adaptació al substrat.
- Cadena i mosquetó per fixar la corda al mort, ja que hi ha un risc de desgast de la corda si aquesta es fixa directament al mort.

- Bosses de reclutament, bosses de malla de 1 cm emplenades amb una malla (uns 12 metres per bossa) de menor diàmetre per augmentar la superfície de contacte per a la localització de les larves.
- Brides, per a la fixació de les bosses d'assentament a la corda. Dues brides per bossa.



Il·lustració 12. Dispositiu d'assentament larvari consistint en dues bosses de malla on s'hi assentaran les larves, previ a ser fondejat al Parc Nacional Arxipèlag de Cabrera. Font: pròpia.



Il·lustració 13. Dispositiu d'assentament larvari fondejat a 5 metres de profunditat a aigües del Parc Nacional Marítim-terrestre de l'Arxipèlag de Cabrera. Font: Iris Hendriks.

Els dispositius d'assentament larvari (DAL) per a *P. nobilis* s'han disposat al llarg de la costa de l'Illa de Cabrera (Parc Nacional Marítim-Terrestre). El motiu pel qual s'ha optat per la localització de l'Illa de Cabrera i els seus illots com a zona de reclutament és principalment pel bon estat de les poblacions ja que des de l'any 1991 l'Arxipèlag de Cabrera ostenta la figura de Parc Nacional i, a més, gràcies a l'ajuda del Projecte CEFAPARQUES, s'han pogut col·locar les bosses d'assentament larvari des del mes de juny de 2012 a uns Dispositius agregadors de postes de cefalòpodes (DACs) ja fondejats.

La distribució dels DAL al PN Marítim-Terrestre de Cabrera ve determinada per la ubicació dels DACs del Projecte CEFAPARQUES, 30 dispositius fondejats al voltant de l'arxipèlag a diferents fondàries i hàbitats. D'aquests 30 DACs se n'han escollit 15 de diferents, predominant els de fons de *Posidonia oceànica*, escollint ubicacions on hi ha informació de la presència de *P. nobilis* ja que l'Institut Espanyol d'Oceanografia està elaborant una cartografia acurada de l'espècie, i on hi ha presència d'adults reproductors per a obtenir el major reclutament possible.

S'ha mesurat l'amplada màxima i l'alçada màxima de cada individu extret dels dispositius d'assentament larvari mitjançant un peu de rei i s'ha identificat amb una piqueta enumerada per a un posterior anàlisi del creixement de l'estadi juvenil de *P. nobilis* a la Badia de Santa Maria, Cabrera.

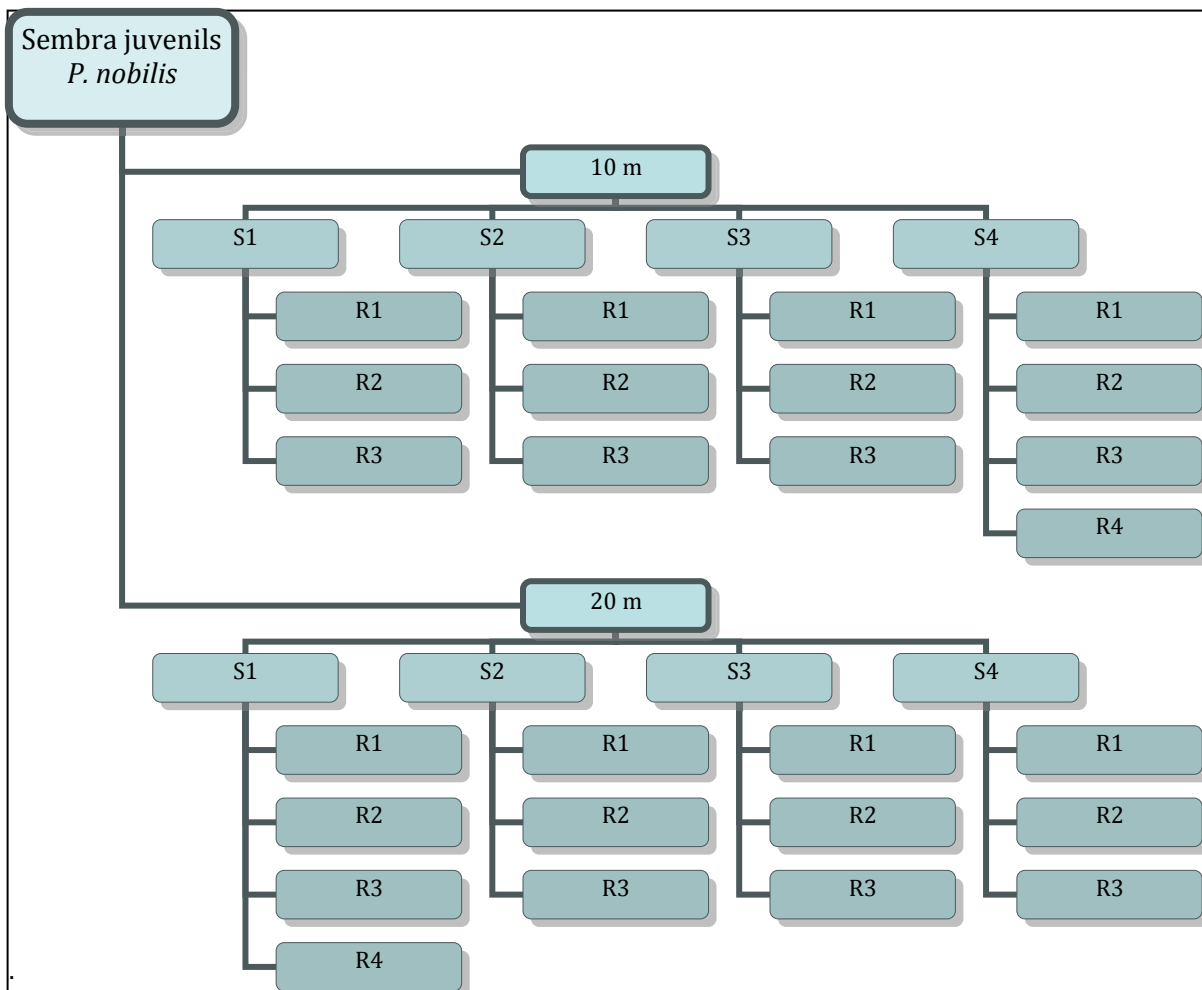
Durant el període de fondeig dels DAL (juny/2012 a maig/2013) s'han hagut de reposar bosses per a mantenir la uniformitat del mètode durant la durada de l'estudi, ja que per motius de resistència dels dispositius davant temporals o impacte amb embarcacions alguns han sofert.

Aquest bio-assaig de captació de juvenils de *P. nobilis* no té la finalitat de identificar tots els organismes al laboratori i extreure'n dades sobre la biologia en aquest estat de creixement, sinó que per a ser sembrats el més aviat possible i poder extreure dades de creixement i supervivència en el medi.

3.2. Sembra

Els juvenils recol·lectats dels DAL han estat sembrats mitjançant busseig a la badia de Santa Maria, Cabrera, annexos a unes parcel·les permanents de l'IEO-COB a 10 i 20 metres de profunditat i hàbitat de *Posidonia oceanica*. S'han dut a terme 4 rèpliques per cota de profunditat, amb 3 individus per rèplica. A excepció de dues rèpliques on s'hi han sembrat 4 individus de *P. nobilis*. Aquest fet es deu a la presència de 4 individus de mida relativament petita que han estat sembrats conjuntament, en dos grups de dos, un a cada cota de profunditat. S'han sembrat els individus identificats amb una numeració (mitjançant una piqueta enumerada) per les posteriors revisions i, anàlisi de la supervivència i estat de creixement.

En el disseny de la sembra de juvenils de *P. nobilis* s'han tingut en compte tres factors, un factor fixa que correspon a la profunditat de sembra i dos factors aleatori que correspon al lloc de sembra i a la rèplica de sembra respectivament.



Il·lustració 14. Organigrama del disseny experimental de la sembra de juvenils de *P. nobilis* a dues profunditats (10 i 20 m) a la badia de Santa Maria, Cabrera. (S_n= lloc de sembra; R_n= rèplica)

La sembra dels juvenils de *P. nobilis* s'ha realitzat amb el temps mínim possible de manipulació per a no causar efectes adversos als individus recol·lectats. Per la qual cosa s'han extret de les bosses d'assentament, mantingut amb aigua salda durant el

transport i sembra el mateix dia a la badia de Santa Maria, prèviament determinada per les condicions de baix hidrodinamisme, elevades densitats d'adults de *P. nobilis* i categoria de Reserva Integral dins el parc nacional Marítim-Terrestre de l'Arxipèlag de Cabrera.

3.3. Anàlisi estadístic

Per a tractar les dades obtingudes de la sembra de juvenils de *P. nobilis* a dues profunditats (10 i 20 metres) a la reserva integral badia de Santa Maria, Cabrera, respondre a l'objectiu plantejat per a aquest capítol s'han utilitzat els paquets estadístics SPSS 11.5® i PRIMER 6®.

S'ha comprovat la homogeneïtat de les variàncies utilitzant la prova de Levene i s'han analitzat els resultats obtinguts de supervivència contrastats per a dos factors, el factor profunditat i el factor lloc de sembra (rèpliques a cada profunditat) mitjançant un Test T per a mostres independents.

A més s'ha realitzat una ANOVA d'un factor amb Tipus III de suma de quadrats ja que es sol considerar de gran utilitat per a un model no equilibrat, i contrast simple per comprovar si els nivells d'un efecte són significativament diferent uns dels altres.

4. Resultats

4.1. Efectivitat dels DAL (dispositius d'assentament larvari)

La captació de juvenils mitjançant els dispositius artificials s'ha limitat als mesos de febre i maig de 2013 per temes de logística de la recollida del material biològic i la posterior sembra a un indret pròxim (badia de Santa Maria- reserva integral).

Un total de 26 juvenils de *Pinna nobilis* es recol·lectaren als Dispositius d'Assentament Larvari, 6 a la bossa retirada el mes de febrer i 20 a la resta de bosses retirades el mes de maig.

A les bosses d'assentament es trobaren individus juvenils de *P. nobilis* amb unes dimensions de $623,12 \text{ mm} \pm 302,37(\text{SD})$ de longitud màxima i $266,19 \text{ mm} \pm 120,02(\text{SD})$ d'amplada màxima. S'observen desviacions estàndard molt elevades per la presència d'individus de talles grosses (amplada màxima= 455 mm) i de talles petites (amplada mínima= 44 mm). Aquestes diferències segurament responen als dos períodes de reproducció (estiu i hivern) que s'ha esmentat més amunt, i per la qual cosa es creu que els individus de talla més grossa correspondrien a aquells juvenils nascuts durant l'estiu de 2012.

Cal posar de manifest que s'han trobat juvenils de *P. nobilis* a 5 dels 15 DAL fondejats al mes de juny de 2012, i cap d'ells ha sofert incidències durant el període de fondeig.

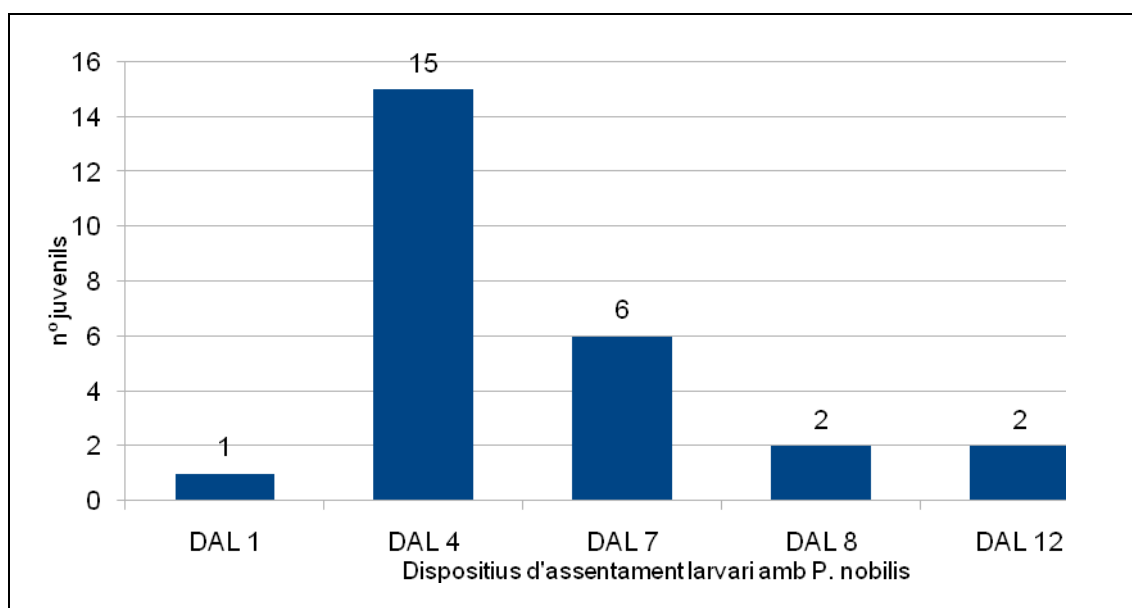


Il·lustració 15. Juvenil de *P. nobilis* assentat a l'exterior d'una bossa del DAL 4 (30/8/2012) d'uns 3 cm de llargada aproximadament.



Il·lustració 16. Juvenil de *P. nobilis* a l'interior d'una bossa del DAL 4 (13/12/2012) d'un 7-8 cm de llargada aproximadament.

La següent gràfica (il·lustració 16) mostra els dispositius d'assentament larvari amb presència de juvenils de *Pinna nobilis* i el nombre d'individus recollits a cada DAL:



Il·lustració 17. Gràfica on s'il·lustren els individus juvenils de *P. nobilis* continguts a les bosses d'assentament dels diferents DALs fondejats al voltant de l'Arxipèlag de Cabrera.

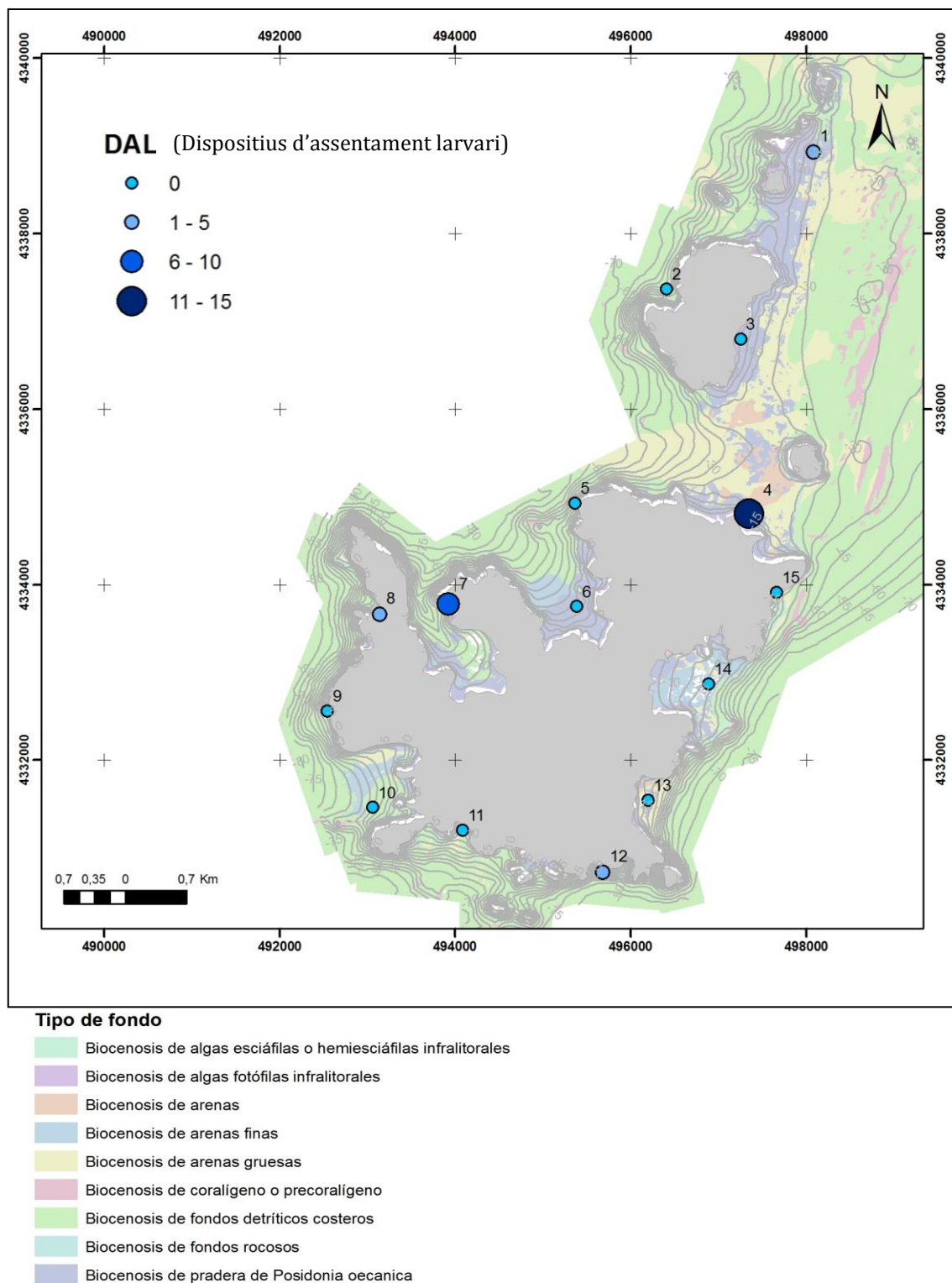
Els dispositius fondejats 4 i 7, localitzats al canal entre l'illa grossa de Cabrera i Conillera i a la bocana del Port de Cabrera han presentat un major reclutament larvari del bivalve *P. nobilis*.

El 92,31% dels juvenils de *P. nobilis* assentats en els dispositius corresponen a fons de *Posidonia oceanica* i el 7,69% a fons d'arena (un sol dispositiu amb dos juvenils de *P. nobilis*).

És possible que l'efectivitat de l'assentament larvari als dispositius fondejats al voltant de Cabrera s'hagi vist força condicionada per dos factors que han determinat la persistència de les bosses d'assentament durant tot el període d'estudi: els temporals marítics ocorreguts durant els mesos d'octubre i novembre de 2012, i febre i març de 2013; i per la col·lisió accidental d'embarcacions amb els DACs que ha fet que alguns dispositius d'assentament larvari s'hagi perdut o fet malbé.

Cal posar de manifest que 3 dels 26 individus juvenils assentats als DAL disposats al voltant de l'arxipèlag de Cabrera són individus de *Pinna rudis* (L., 1758), una espècie de la mateixa família que *Pinna nobilis*, també present a l'arxipèlag de Cabrera però no tant comú (Ballesteros, 1998).

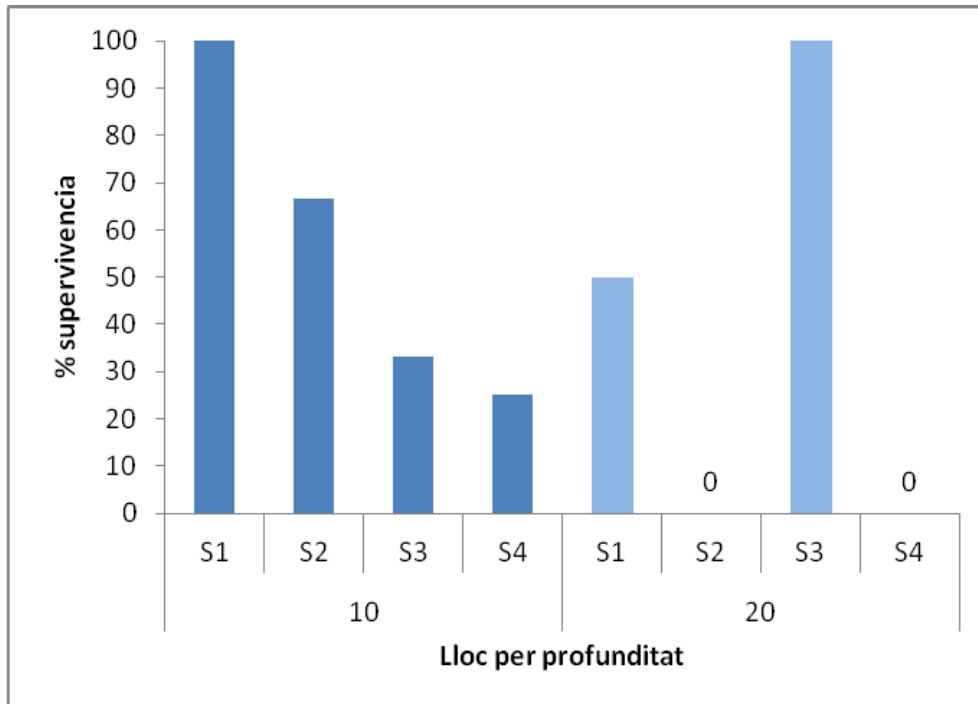
S'adjunta un mapa dels dispositius d'assentament larvari (DAL) o es poden veure els diferents DAL on s'ha produït assentament de larves de *P. nobilis* i la densitat (en nombre d'individus) de juvenils trobada a l'arxipèlag de Cabrera (il·lustració 17):



Il·lustració 18. Mapa de l'Arxipèlag de Cabrera on s'il·lustra l'abundància total de juvenils de *Pinna nobilis* trobats a les bosses d'assentament larvari al mes de febrer per al DAL 7 i al mes de maig per a la resta de DALs.

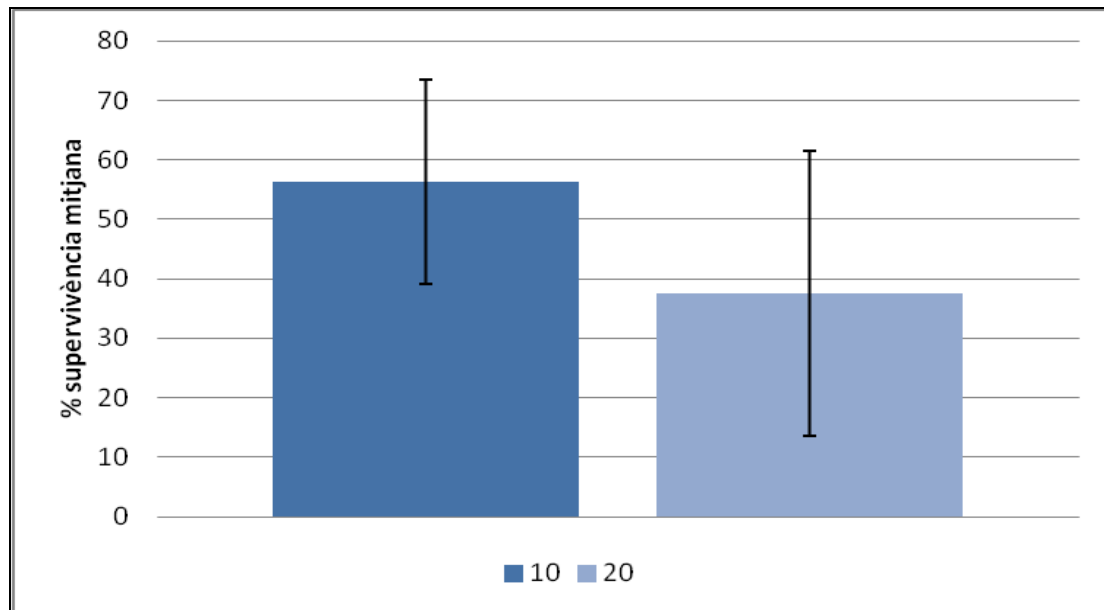
Supervivència dels individus juvenils de *Pinna nobilis* sembrats

Per a respondre l'objectiu fonamental d'aquest capítol s'ha analitzat la supervivència dels individus juvenils de *P. nobilis* sembrats a dues profunditats diferent i determinar si la profunditat és un factor determinant per al reclutament d'aquesta espècie.



Il·lustració19. Gràfica que representa els 8 llocs de sembra de juvenils de *P. nobilis* a dues profunditats (10 i 20 m) i el % d'individus vius a la primera revisió (76 dies per a S1 i S2 a 10 m de profunditat, i 81 dies per a la resta)

La gràfica anterior (il·lustració 19) reflecteix el nombre d'individus juvenils vius de *P. nobilis* després d'estar, 76 dies per a les rèpliques S1 i S2 de 10 m de profunditat i 81 dies per a la resta de rèpliques, sembrats al fons marí (hàbitat de praderia de *P. oceanica*). S'observen diferències clares entre les dues profunditats, ja que a 10 metres totes les rèpliques han tingut almenys un 25 % de supervivència; i, en canvi, les rèpliques de sembra a 20 m de profunditat han tingut una supervivència menor, trobant dues rèpliques de sembra (amb tres individus cada una al inici de la prova pilot) sense cap individu.



Il·lustració 20. Mitjana de les 4 rèpliques d'individus vius de *P. nobilis* trobats a la primera revisió per cota de profunditat (10 i 20 m)

S'observa un patró de diferències entre les dues profunditats (il·lustració 20) però no existeixen diferències significatives entre aquestes, tot i que apareix una major supervivència a la cota dels 10 m. Probablement amb una mostra major d'individus sembrats si que s'observarien diferències significatives entre les supervivències de *P. nobilis* a 10 i 20 m de profunditat.

Quan s'analitza la supervivència mitjana per profunditat s'observa que aquesta és major a les rèpliques de 10 metres de profunditat, amb una mitjana de supervivència de juvenils vius a la primera revisió de del 56,25 %, en front dels 37,5 % de mitjana a 20 metres de profunditat, i un error menor a les rèpliques de 10 m que ens indica una major similitud entre les mostres de la variable analitzada a aquesta profunditat. Però aquestes dades s'expliquen, principalment, pel fet de que el 50 % de les rèpliques sembrades a 20 m de profunditat (S2 i S4) han tingut un 0% de supervivència en la primera revisió.



Il·lustració 21. Individu juvenil de *Pinna nobilis* a praderia de *P. oceanica*. Font: Pablo Sánchez Jerez.

No es pot determinar si el creixement en dimensions de les valves en els primers estadis és accelerat degut a que només s'han efectuat dues revisions, tot i que en els primers 4 mesos individus de *P. carnea* a aquari d'un estudi consultat (Narváez et al., 2000) tingueren un creixement accelerat i podria ser que aquest patró es repeteixi a varies espècies de la família.

S'adjunta una taula del creixement dels individus juvenils de *P. nobilis* sembrats a dues profunditats (10 i 20 m) a la badia de Santa Maria, Cabrera:

Taula 9. Conjunt d'individus juvenils sembrats a la badia de Santa Maria, Cabrera.

L'estat de supervivència s'ha dividit en tres grups: 1-juvenil viu; 2-juvenil mort; 3-juvenil i marca no trobats.

			Amplada màxima (mm)					
Nº marca Pinna	Profunditat	Lloc (S _n)	Sembra		Creixement	Dies post- sembra	estat supervivència	
	266	10	1	443		22	75	1
	618	10	1	367		201	75	1
	126	10	1	370	-214*		75	1
	625	10	2	312		24	75	1
	675	10	2	291			75	2
	265	10	2	410		208	75	1
	617	10	3	331		136	81	1
	673	10	3	394			81	3
	664	10	3	250			81	2
	663	10	4	283		104	81	1
	382	10	4	148			81	2
	669	10	4	44			81	2
	669	10	4	127			81	2

148	20	1	416	-8 ^a	81	1
662	20	1	312		81	2
670	20	1	53		81	2
670	20	1	77	170	81	1
270	20	2	151	19	81	2
661	20	2	224		81	2
665	20	2	239	234	81	2
380	20	3	183	267	81	1
624	20	3	196	19	81	1
667	20	3	350	234	81	1
433	20	4	455	-105 ^b	81	2
672	20	4	203		81	2
668	20	4	292	28	81	2
266	10	1	443		156	2
618	10	1	367	62	156	1
126	10	1	370	668 ^c	156	1
625	10	2	312	137	156	1
675	10	2	291		156	2
265	10	2	410	10	156	1

^a Individu amb un error de mesura.

^b Individu mal mesurat trobat mort, possiblement per un gasteròpode.

^c Individu mal mesurat al moment de la sembra. El valor final fa referència a la resta de l'amplada màxima inicial - l'amplada màxima a la segona revisió.

La columna que fa referència al creixement dels individus juvenils sembrats en els diferents temps (75 i 81 dies la primera revisió i 156 la segona revisió només per a 6 individus) no està completa degut a que només s'ha pogut mesurar l'amplada màxima d'aquell individus vius i d'aquells morts que s'han trobat en perfecte estat.

A la taula 17 es poden observar la totalitat dels juvenils de *P. nobilis* sembrats a la badia de Santa Maria i les característiques de cada individu en quan a al lloc de sembra, profunditat de sembra, mesura de l'amplada màxima de les valves dels individus al moment de la sembra i a cada revisió, els dies passats entre revisions des de la sembra, i la supervivència dels individus a cada revisió.

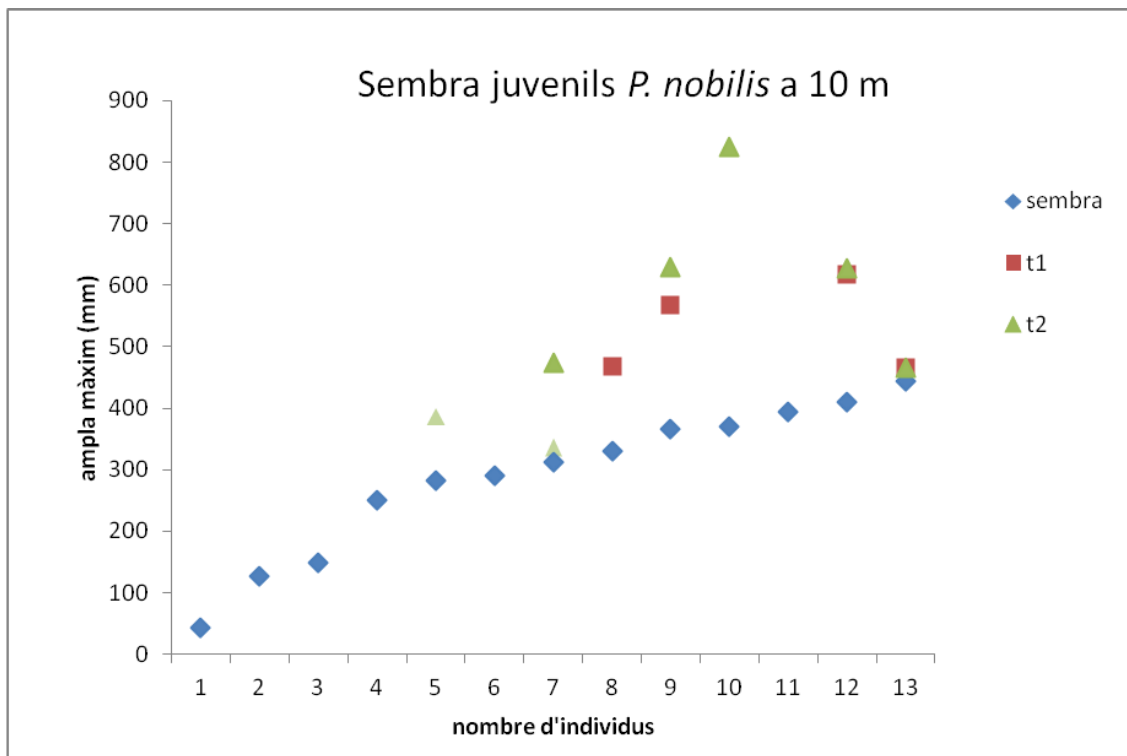


Il·lustració 22. Juvenil de *P. nobilis* mort, marcat amb el nombre 266 que fa referència a un individu sembrat el 21/02/2013 a 10 m de profunditat al lloc S1 i 433 mm d'amplada màxima al moment de la sembra.. Probablement Mort per depredació per gasteròpode. I ampliació d'orifici circular deixat per el potencial depredador.

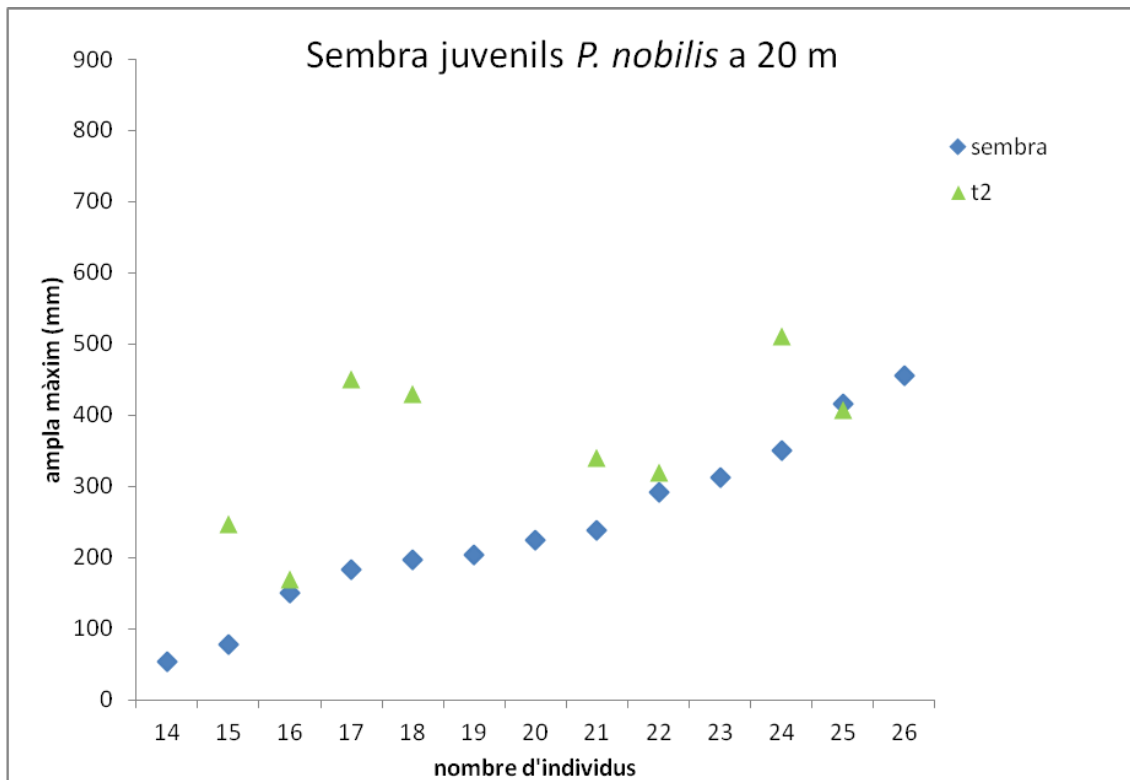
Es fan necessàries més revisions per a extreure resultats fiables en quant a creixement de juvenils de *P. nobilis* i la seva supervivència en un medi en condicions naturals, no controlades. Tot i així, en termes generals i sense tenir en compte la profunditat de sembra, han sobreviscut fins a la primera revisió el 46.15% dels individus juvenils sembrats. Ara bé, si separem les mostres (individus juvenils) per profunditat s'observen diferències en la supervivència mitjana de cada profunditat independentment del lloc on han estat sembrades: a 10 m de profunditat han sobreviscut el 53.85% i a 20 m de profunditat el 38.46%, per la qual cosa en els tres primers mesos de sembra hi ha hagut major supervivència de juvenils insertats al fons de manera artificial a 10 m de profunditat que a 20 m de profunditat. I, a més, el tant per cent de supervivència per rèplica ha estat més variable a la major profunditat, 20 m, amb una rèplica amb tots els individus juvenils sembrats vius, una amb el 50% dels individus vius, i dues amb cap individu viu. Cal posar de manifest que tant l'estacionalitat, com la disponibilitat d'aliment, la depredació i la densitat de la praderia de *P. oceanica* podrien ser tres factors claus que afecten a la supervivència dels individus juvenils de *P. nobilis*.

Aquesta variabilitat a la cota dels 20 m fa que les diferències entre ambdues profunditats augmentin per la qual cosa es possible que en una futura actuació d'aquest tipus s'hagués d'augmentar el nombre de rèpliques i, alhora fondejar més dispositius artificials d'assentament larvari als llocs on s'han trobat més individus de *P. nobilis* per a assegurar un major nombre d'individus juvenils a les bosses d'assentament i la seva posterior sembra.

S'han elaborat dues gràfiques (il·lustració 21 i 22) per a mostrar la tendència de creixement dels individus juvenils sembrats a 10 m i 20 m de profunditat trobats vius tant a la primera com a la segona revisió, des de l'individu de menor mida sembrat fins al de major mida. Els individus inexistents a la següent gràfica corresponen a aquell que no han sobreviscut a la primera o segona revisió:



Il·lustració 23. Amplada màxima de les valves de cada individu sembrat de *P. nobilis* a la cota de 10 m a la badia de Santa Maria, disposats per ordre creixent de talls inicials.



Il·lustració 24. Amplada màxima de les valves de cada individu sembrat de *P. nobilis* a la cota de 20 m a la badia de Santa Maria, disposats per ordre creixent de talles inicials.

S'observa que existeix una disparitat en el creixement dels individus de *P. nobilis* sembrats. Existeixen individus que presenten un creixement accelerat com l'individu amb marca 380 que ha tingut un creixement de 267 mm en 81 dies a 20 m de profunditat, i individus que presenten un creixement molt més lent com l'individu amb marca 270 que ha tingut amb el mateix temps un creixement de 19 mm també a 20 m de profunditat.

5. Discussió

Aquest treball ha analitzat l'efectivitat dels dispositius d'assentament larvari com a mètode per a la recol·lecció d'individus de *P. nobilis* al Parc Nacional Marítim-Terrestre de l'Arxipèlag de Cabrera, i la sembra d'aquests per determinar una eina de gestió activa efectiva i eficaç per a la recuperació de l'espècie en llocs on la densitat d'individus adults reproductors és molt baixa o nul·la.

Tot seguit es detallen un conjunt de consideracions envers els resultats obtinguts:

- En el marc d'aquest treball s'ha realitzat la primera experiència de sembra de juvenils de *Pinna nobilis* al medi natural de les Illes Balears, i segons la bibliografia consultada, de l'estat Espanyol.
- L'efectivitat dels dispositius d'assentament larvari s'ha reafirmat per a l'assentament d'invertebrats bentònics a l'Arxipèlag de Cabrera degut a la gran diversitat d'organismes trobats a les bosses de malla, que han estat retornats al medi ja que no eren objecte d'aquest estudi. No obstant, l'assentament de *Pinna nobilis* és molt variable a nivell espacial, presentant grans diferències entre zones de mostreig revisades mensualment al llarg d'un any d'estudi.
- Els dispositius d'assentament larvari no només presenten les condicions adequades per a l'espècie estudiada, sinó que són un dispositiu artificial òptim per a l'assentament d'altres invertebrats com altres bivalves, briozous o esponges (observació de camp). Per la qual cosa un treball futur d'aquestes característiques podria avaluar la diversitat d'espècies que es poden trobar a aquests dispositius artificials.
- Les zones de reserva integral no han presentat assentament larvari de *P. nobilis*, tot i que hi ha una presència elevada d'individus adults, per la qual cosa les corrents marines o altres factors com ara la predació en les primeres fases de desenvolupament poden condicionar l'èxit del reclutament larvari de *P. nobilis* més que les mesures de gestió de l'espai natural protegit.
- no es pot assumir directament que les mesures de gestió de l'àrea protegida siguin efectives per a aquesta espècie sense un major aprofundiment en la matèria.
- S'han observat dos conjunts de talles en els individus de *P. nobilis* assentats als dispositius artificials, i aquest fet podria anar relacionat amb la presència de dos pics de reproducció durant l'any, un de gran intensitat a l'estiu i un de menor intensitat al hivern.
- Els organismes morts trobats durant les revisions de la sembra, efectuada tant al febrer (21-febrer-13) com al maig (07-maig-13), podrien estar associats a un gasteròpode perforador, per l'empremta de depredació que s'observa a les valves (orifici circular), de la família Naticidae. S'ha trobat

bibliografia que reflecteix aquest fet en espècies de la mateixa família, *P. carnea*, a cistelles de cultiu al Carib Colombià (García et al., 1997), on la mitjana mensual de supervivència es trobà per davall del 65 % associat a la presència de depredadors (gasteròpodes i crustacis)

- Amb el seguiment d'aquesta prova pilot, en un horitzó de temps adequat a la biologia de l'espècie es podria intentar respondre a quins factors determinen la distribució de talles dels exemplars, ja que, segons García (2005) en un estudi realitzat a la Ensenada de Moraira, Comunitat Valenciana, la distribució de talles i la densitat d'individus estan relacionades amb la profunditat (mides més petites a cotes superficials), tot i que no observà cap canvi de posició dels individus en 5 anys d'estudi i una mortalitat global major a cotes més someres. I respondre a quins factors influeixen el reclutament, ja que, segons Cabanellas-Reboredo et al. (2009), el reclutament està influenciat per la condició de pre-fresa dels adults, la presència de depredadors i la temperatura de l'aigua de mar.
- S'ha de fer un seguiment continuat de les poblacions de *P. nobilis* de les Illes Balears, tant als espais naturals protegits com a la resta de la costa balear. I es fa necessària una protecció més eficient de les praderies de *P. oceanica*, especialment en tems de regeneració de platges i contaminació ja que la pesca d'arrossegament està regulada per el Reial Decret 1440/1999, de 10 de setembre, per el que es regula l'exercici de la pesca amb arts d'arrossegament de fons en el calador nacional de la Mediterrània.

Seria molt interessant poder realitzar un anàlisi de regressió múltiple entre el paràmetre de creixement en funció de les variables ambientals (Tº, salinitat, conductivitat, ...) i veure si hi ha una relació significativa o no en quan al creixement de les valves dels individus marcats.

Recomanacions de Gestió:

Partint dels resultats obtinguts i de les conclusions que en deriven es poden fer una sèrie de recomanacions de gestió per a la planificació i conservació de les poblacions de *P. nobilis* al Parc Nacional, que podrien ser extrapolables (tenint en compte les especificacions de cada cas i la informació prèvia disponible de les poblacions del bivalve) a altres indrets de les Illes Balears:

- Analitzar el potencial reproductor de *P. nobilis* al PN Arxipèlag de Cabrera: Al Capítol anterior, Capítol II, en el que s'han estudiat les concentracions de metalls pesats a les parts blanques de *P. nobilis* s'ha extret en les seves conclusions que sembla que les elevades concentracions de metalls pesats a les mostres de la badia de Santa Maria, Cabrera, no afecten al fitness biològic de l'espècie ja que les densitats d'individus adults són molt altes; i, en aquest capítol s'ha pogut observar que el DAL fondejat a 5 m de profunditat a la badia de Santa Maria no ha mostrat assentament per a *P. nobilis*. Per la qual cosa existeix un factor aliè als que s'han estudiat que està determinant el baix assentament de larves al dispositiu artificial

que s'hauria d'estudiar per a entendre la dinàmica reproductiva de l'espècie i poder aplicar les mesures de planificació necessàries.

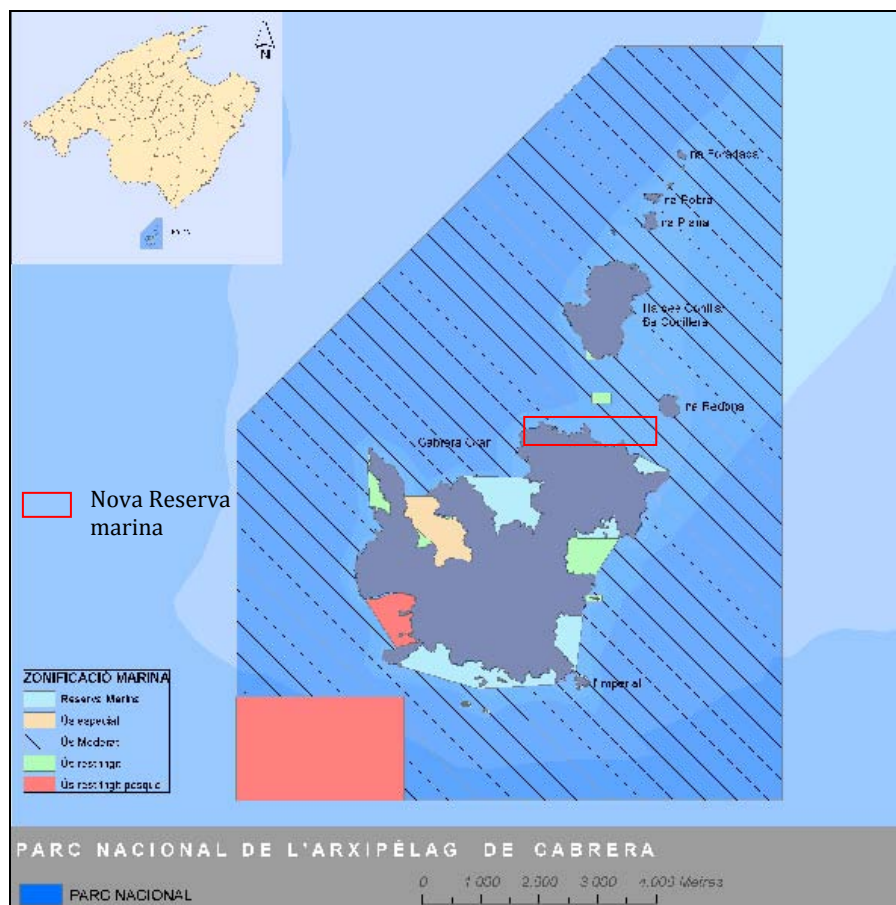
- Seguiment temporal de les poblacions de *Pinna nobilis*:

S'hauria de desenvolupar un Pla de Seguiment dels individus juvenils de *P. nobilis* marcats durant aquest treball, per tal d'avaluar les taxes de creixement, mortalitat i implantació de nous individus el que permetria realitzar un model poblacional i proposar mesures de gestió en àrees desproveïdes d'individus adults reproductors de *P. nobilis*.

- Ampliar les zones de reserva marina (terminologia empleada per els gestors del PN) afegint la zona del Canal entre l'illa grossa de Cabrera i Na Redona on s'hi ha trobat el major assentament larvari (DAL 4; coordenades UTM 31 S 497346, 4334810):

En vista dels resultats dels baixos resultats generals d'assentament larvari es fa necessari estudiar-ne el motius i analitzar les zones de major assentament. En el cas que en ocupa el DAL 4 ha presentat el major nombre d'individus juvenils de *P. nobilis* i s'hi han trobat individus dos tipus de talles que correspondrien a als dos pics de reproducció més amunt citats. Aquesta reserva marina d'ús restringida al pas d'embarcacions, seguint el model del PN, s'hauria de delimitar mitjançant els dos caps de la petita badia.

S'adjunta un mapa de zonificació del Parc Nacional amb la proposta de la nova zona:



Il·lustració 25. Zonificació dels usos marítics del Parc Nacional Marí-Terrestre de l'Arxipèlag de Cabrera i proposta de nova reserva marina al voltant de la zona del DAL 4. Font: imatge del OAPN

Capítol IV. Consideracions finals i propostes de gestió

Al llarg de temps dedicat a l'estudi dels diferents aspectes analitzats de *Pinna nobilis* en aquest treball s'han arribat a un seguit de consideracions finals a mode de conclusions generals sobre l'espècie estudiada i el seu estat de coneixement i gestió:

- La protecció de les espècies marines a escala mundial troba certes dificultats que requereixen l'adaptació d'actuacions concretes. La principal eina a Espanya per a la protecció d'espècies silvestres és el Catálogo Español de Especies Amenazadas, que només recull 39 espècies marines, de les quals la majoria són mamífers marins o tortugues marines. Per la qual cosa, la investigació del medi marí és la via per a obtenir el coneixement necessari i poder dur a terme les mesures de gestió adequades a les necessitats actuals de conservació.
- En els acords de protecció d'espècies es fan necessaris procediments de revisió ja que el coneixement de medi marí és escàs, i per a una gestió eficaç és primordial que existeixi una coordinació internacional, tant per prendre mesures com per acordar accions conjuntes per a la protecció i conservació de totes les espècies, i concretament per a l'objecte d'aquest treball. Semblaria que la Directiva Marc d'Estratègies Marines, en implementació, podria solucionar aquests entrebancs de la conservació.
- Es fa necessària una metodologia comú per a l'anàlisi i presa de mostres de bivalves de gran mida per a poder comparar els resultats de manera més fidedigna.
- Seria convenient realitzar campanyes de sensibilització a causa del desconeixement generalitzat de l'espècie (observació pròpia), al sector pesquer, a bussejadors, i en especial a la població en general. Possiblement sent més efectiu a escolars i duent a terme campanyes de informació directa als mesos d'estiu.
- S'haurien de delimitar les àrees on hi ha poblacions de *P. nobilis* i desenvolupar mesures eficaces i eficients per a mantenir l'estat de les poblacions i evitar el seu deteriorament.
- La mesura més urgent per a una bona gestió d'aquesta espècie passa per la protecció eficaç del seu hàbitat ja que es tracta d'una espècie bentònica i de vida llarga.
- En conclusió, *Pinna nobilis* ha quedat demostrat com a bon bioindicador de la contaminació per metalls pesats i pot ser utilitzat com a un indicador de les condicions ambientals dels hàbitats que ocupa.

Per la qual cosa s'han considerat les següents propostes de gestió:

- Ampliar el coneixement de l'espècie en qüestió a través de campanyes d'investigació destinades a millorar el que es coneix de l'espècie i els seus hàbitats.
- Desenvolupar un Pla de Seguiment de les poblacions de *Pinna nobilis*.
- Elaboració d'un Pla de Recuperació de *Pinna nobilis* a les Illes Balears, d'acord amb la Directiva Hàbitats.
- Elaborar una campanya de sensibilització sobre l'espècie per a la població en general amb la finalitat d'obtenir una col·laboració activa en la conservació de *P. nobilis*.
- Desenvolupar un projecte d'avaluació de l'assentament larvari durant un període de temps que permeti poder tenir resultats viables per a proposar mesures de gestió eficaces per a la conservació de l'invertebrat bentònic *Pinna nobilis*.

Divulgació dels resultats obtinguts

Els resultats obtinguts al llarg d'aquest treball han estat presentats al 40th CIESM Congress que tindrà lloc a Marsella del 28 d'octubre al 1 de novembre del 2013.



40th CIESM Congress-Marseille, France,
28 October- 1 November 2013

<http://www.ciesm.org/marine/congresses/>

Assesing heavy metals in the marine bivalve *Pinna nobilis* in the Balearic Islands (Western Mediterranean). Morató M., Deudero S., Vázquez-Luis M., Guitart C., Campillo J. A. 2013.

Abstract: Heavy metals (Cd, Cu, Hg, Pb and Zn) concentration were determined in the marine bivalve *Pinna nobilis* along the Balearic Islands, comparing a protected area with two sites with strong anthropogenic influence. Analyses of Cabrera and Mallorca indicated that heavy metal concentration were generally higher in the most of samples, specially in Santa Maria bay (Cabrera, MPA), and Magaluf (Mallorca, with strong anthropogenic influence). *Pinna nobilis* appears to efficiently bioaccumulate heavy metals exhibiting large differences in a range of anthropic scenarios. The results on *P. nobilis* metal accumulation show that the concentrations decrease according to order: Zn > Cu > Pb > Cd > Hg mg/Kg dw.

***Pinna nobilis* and epiphytic foraminifera as potential bioindicators of heavy metal pollution in Balearic Islands (Western Mediterranean).**

Morató M., Khokhlova A., Deudero S., Mateu-Vicens G., Vázquez-Luis M., Campillo J. A. 2013.

Abstract: Metal (Cd, Cu, Hg, Pb, and Zn) concentrations and percentage of deformed foraminifera were measured in soft tissues of *P. nobilis* and sediment samples, respectively, in order to assess pollution levels in Balearic Islands. Analyses of Cabrera and Mallorca indicated that heavy metal concentrations were generally higher in the majority of samples, specially in Santa Maria bay (Cabrera, MPA), where high percentages of deformed shells (up to 26 %) and high values of metal pollution index (38.171 mg/Kg) were found.

Bibliografia

- Adriano D. C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag. New York.
- Alcover J. A., Ballesteros E. Fornós J. J. (eds) 1993. Història natural de l'Arxipèlag de Cabrera. Editorial Moll-CSIC. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears
- Alomar C. & Deudero S. 2012. Pinna nobilis as a proxy to good environmental status: stable isotope signatures under a gradient of eutrophication and Protection. XVII Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina. San Sebastian 2012. Comunicación oral.
- Anderson M. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26, 32-46.
- Andral B., Stanisiere J.Y., Mercier S. 2001 Evaluation de la contamination chimique des eaux basée sur l'utilisation des estations artificielles de moules en Méditerranée: résultats de la campagne 2000. Rinbio: Réseau Intégrateurs Biologiques. Ifremer/Direction de l'Aménagement littoral, 93.
- Andral B., Galgani F., Tomasino C., Bouchoucha M., Blottiere C., Scarpato A., Benedicto J., Deudero S., Calvo M., Cento A., Benbrahim S., Boulahdid M., Sammari C. 2011. Chemical Contamination Baseline in the Western Basin of the Mediterranean Sea Based on Transplanted Mussels. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 61, Issue 2, 261-271.
- Ballesteros E. 1998. Addicions a la fauna d'invertebrats bentònics de l'Arxipèlag de Cabrera (Illes Balears, Mediterrània Occidental). *Bolletí Societat d'Història Natural de les Illes Balears*, 41, 41-48.
- Ballesteros E., Barón A., et al. 2007. Implementació de la Directiva Marc de l'Aigua a la Illes Balears: Avaluació de la qualitat de les masses d'aigua costaneres utilitzant les macroalgues i els invertebrats bentònics com a bioindicadors (Maig 2005-Març 2007). Informe Final. Agència Balear de l'Aigua i de la Qualitat Ambiental. Direcció General de Recursos Hídrics.
- Benedicto, J., Rodriguez, C., Martínez-Gómez, C., Guerrero, J., Jornet, A., 2003. Distribución espacial y tendencias temporales de los niveles de metales traza en el litoral de Andalucía utilizando mejillón, *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) como organismo indicador: 1991– 2003. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía* 19 (1–4), 31– 39.
- Buccolieri A., Buccolieri G., Cardellicchio N., Dell'Atti A., Di Leo A., Maci A., 2006. Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Marine Chemistry* 99, 227-235.

- Cabanellas-Reboredo M., Deudero S., Alós J., Valencia J.M., March D., Hendriks I.E., Álvarez E. 2009. Recruitment of *Pinna nobilis* (Mollusca: Bivalvia) on artificial structures. *Marine Biodiversity Records*, 1-5.
- Combelles S., Moreteau J. C., Vicente N. 1986. Contribution à la connaissance e l'écologie de *Pinna nobilis* L. (Mollusque eulamellibranche). *Sci. Rep. Port-Cros Nation. Park*, 12, 29-43.
- Connell J. H. 1985. The consequences of variation in initial settlement vs post-settlement mortality in rocky intertidal communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 93, 11-45.
- Corbin, T. & Wade, S., 2004. Heavy metal concentrations in razorfish (*Pinna bicolor*) and sediments across northern Spencer Gulf. *Environment Protection Authority Adelaide, South Australia*.
- Cravo A. & Bebianno M. J., 2005. Bioaccumulation of metals in the soft tissue of *Patella aspera*: Application of metal/Shell weight indices. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65, 571-586.
- Daby, D., 2005. Coastal Pollution and Potential Biomonitoring of Metals in Mauritius. *Water, Air and Soil Pollution (July 2006)* Volume 174, Issue 1-4: 63-91.
- De Gaulejac B. & Vicente N. 1990. Ecologie de *Pinna nobilis* (L.) mollusque bivalve sur les cotes de Corse. *Essais de transplantation et expériences en milieu contrôlé*. *Haliotis* 10, 83-100.
- Della Torre C., Petochi T., Corsi I., Dinardo M. M., Baroni D., Alcaro L., Focardi S., Tursi A., Marino G., Frigeri A., Amato E. 2010. DNA damage, severe organ lesions and high muscle levels of As and Hg in two benthic fish species from a chemical warfare agent dumping site in the Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment* 408, 2136-2145.
- Deudero S., Box A., March D., Valencia J. M., Grau, A. M., Tintore J., Benedicto J., 2007. Temporal trends of metals in benthic invertebrate species from the Balearic Islands, Western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin* 54, 1523-1558.
- Deudero S., Box A., tejada S., Tintoré J. 2009. Stable isotopes and metal contamination in caged marine mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Marine Pollution Bulletin* 58, 1025-1031.
- Deudero S. & Cabanellas-Reboredo M. 2008. Informe Acción Especial: Desarrollo de técnicas para evaluar juveniles del bivalvo endémico *Pinna nobilis* mediante dispositivos de asentamiento larvario.

- Doménech X. 1995. Química de la hidrosfera. Origen y destino de los contaminantes. Ed. Miraguano, Madrid.
- Du Y., Lian F. Zhu L., 2011. Biosorption of divalent Pb, Cd and Zn on aragonite and calcite mollusk shells. *Environmental Pollution* 159, 1763-1768.
- European Communities, 2001. Commission regulation (EC) N° 466/2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Communities* L77.
- Facetti J., Dekov V. M., Van Grieken R. 1998. Heavy metals in sediment from the Paraguay River: a preliminary study. *Science of the Total Environment* 209, 79-86.
- Fernández-Turiel J. L., Llorens-Benito J. F., López-Soler A., Cabañas-Albero M., Querol-Carceller X., 1995. La calidad de las aguas continentales españolas. Estado actual e investigación: Problemática de los metales pesados en aguas continentales naturales y recicladas. Ed. M Alvarez Cobelas y F. Cabrera Capitán, 307.
- García-Hernández J., García-Rico L., Jara-Marini M. E., Barraza-Guardado R., Hudson Weaver A., 2005. Concentrations of heavy metals in sediment and organisms during a harmful algal Bloom (HAB) at Kun Kaak Bay, Sonora, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 50, 733-739.
- García-March J. R. 2003. Contribution to the knowledge of the status of *Pinna nobilis* (L.) 1758 in Spanish coasts. *Mem. Inst. Oc. Paul Ricard*, 29-41.
- García-March J. R. 2005. Aportaciones al conocimiento de la biología de *Pinna nobilis* Linneo, 1758 (Mollusca, bivalvia) en el litoral Mediterráneo Ibérico. Tesis de Doctorado. Universitat de Valencia.
- García-March J. R. & Vicente N. 2006. Protocol to study and monitor *Pinna nobilis* populations within marine protected areas. MedPAN-Interreg IIIC-project.
- García-March J. R. & Márquez-Aliaga A. 2007. *Pinna nobilis* L., 1758 age determination by internal shell register. *Marine Biology*, 151 (3), 1077-1085.
- García -Valencia C., Urban J., Borrero F. 1997. Dinámica poblacional de la hacha *Pinna carnea* (Gmelin, 1791) (Bivalvia: Pinnidae) del Caribe Colombiano, Región Santa Marta. Resúmenes expandidos, Congreso Latinoamericano sobre ciencias del mar (VII COLACMAR) 1, 354.
- Hendozko E., Szefer P., Warzocha J., 2010. Heavy metals in *Macoma balthica* and extractable metals in sediments from the Southern Baltic Sea. *Ecotoxicology Environmental Safety* 73, Issue 2, 152-163.

- Katsanevakis S. 2007. Growth and mortality rates of the fan mussel *Pinna nobilis* in Lake Vouliagmeni (Korinthiakos Gulf, Greece): a generalized additive modelling a pproach. *Marine Biology* 152, 1319-1331.
- Khristoforova, N. K., Kavun, V. Ya., Latypov, Yu. Ya., Dam Dook Tien, Zhuravel, E. V., Tuyan, N. X., 2007. Heavy metals in mas species of bivalves in Ha Long Bay (south China sea, Vietnam). *Oceanology*, Vol. 47, Issue 5: 685-690.
- Kumar Gupta S. & Singh J., 2011. Evaluation os mollusc as sensitive indicator of heavy metal pollution in aquàtic sysytem: a review. *The IIOAB Journal. Special Issue on Environmental Management for Sustainable Development*, 2, Issue 1, 49-57.
- Lafabrie C., Pergent-Martini C., Pergent C., 2008. Metal contamination of *Posidonia oceanica* meadows along the Corsican coastline (Mediterranean). *Environmental Pollution*. Vol. 151, Issue 1, January 2008, pp. 262-268.
- Lau S., Mohamed M., Tan Chi Yen A., Suut S. 1998. Accumulation of heavy metals in freshwater molluscs. *Sci. Total Environ.* 214, 113-121.
- Maanan, M., 2008. Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region. *Environmental Pollution* 153, 176-183.
- Maher, W. A., 1985. Trace metal concentrations in marine organisms from St. Vicent Gulf, South Australia. *Water, Air and Soil Pollution* (May 1986) Volume 29, Issue 1: 77-84.
- Malm O., Pfeiffer C. W., Souza C. M. M., reuther R. 1990. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River Basin, Brazil. *Ambio* 19, 1, 11-15.
- Marbà N., Duarte C. M., Cebrian J., Gallegos M.E, Olesen B., SandJesen K. 1996. Growth and population Dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: elucidating sea grass decline. *Marine Ecology Progress Series* 137, 203-213.
- Marbà N., Duarte C. M., Holmer M., Martínez R., Basterretxea G., Orfila A., Jordi A., Tintoré. J. 2002. Assessing the effectiveness of protection on *Posidonia oceanica* populations in the Cabrera National Park (Spain). *Environmental Conservation*, 29, 509-518.
- Marbà N., Duarte C. M., Tovar A. 2007. Estudi d'implementació de la directiva marc de l'aigua a Balears: Avaluació de la qualitat ambiental de les masses d'aigua costaneres utilitzant indicadors i índex biològic. *Element biològic de qualitat: Posidonia oceanica*. IMEDEA - Govern de les Illes Balears.
- Mathew, S., Paterson, J., Gauleja, B., Vicente, N., Denis, M., Bonaventura, J., Pearce, L. L., 1996. Manganese and "Pinnaglobin" in *Pinna nobilis*. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 113B, Nº. 3, pp. 525-532, 1996.
- Matida, Y., Kumada, H., 1969. Distribution of mercury in water, bottom mud and aquatic

organisms of Minamata Bay, the River Agano and other water bodies in Japan. Bull. Freshw. Fish. Res. Lab. Tokyo 19(2), 73-79.

- Meybeck M., Horowitz A. J., Grosbois C., 2004. The geochemistry of Seine River Basin particulate matter: Distribution of an integrated metal pollution index. Science of the Total Environment 328, 219-236.
- Mora, S. de., Fowler, S. W., Wyde, E., Azemard, S., 2004. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman. Marine Pollution Bulletin 49, Issues 5-6, 410-424.
- Narváez N, Lodeiros C, Freitas L, Nuñez M, Prieto A. 2000. Abundancia de juveniles y crecimiento de *Pinna carnea* (Mytiloida: Pinnacea) en cultivo suspendido. Rev. biol. Trop, 48(4), 785-797.
- Navarro A., Collado D, Font X. 1998. Movilidad de los metales pesados en el acuífero deltaico del río Almanzora (almería) Tecnología del agua 172, 33-45.
- Ramos Román M. J., 2011. Trace metal distribution in marine sediments of Balearic Islands (Mediterranean Sea, Spain). Projecte d'Investigació Màster Canvi Global (CSIC-UIMP). UIB.
- Richardson C. A.; Kennedy H., Duarte C. M., Kennedy D. P, Proud S. V. 1999. Age and growth of the fan mussel *Pinna nobilis* from south-east Spanish Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows. Marine Biology, 133, 205-212.
- Richardson C. A., Peharda M., Kennedy H., Kennedy D. P., Onofri V. 2004. Age, growth rate and season of recruitment of *Pinna nobilis* (L) in the Croatian Adriatic determined from Mg :Ca and Sr : Ca Shell profiles. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 299, 1-16.
- RNO, 1991. Tendences des polluants dans la matière vivante. In: Surveillance du Milieu Marin. Travaux du Réseau National d'Obsevation de la qualité du milieu marin. Ifremer/Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 7-29.
- RNO, 2000. Tendances temporelles des teneurs en contaminants dans les mollusques du littoral Franc, ais, Surveillance du Milieu marin. Travaux du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin. Ifremer/Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 9-32.
- Rosas Rodríguez H. 2001. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Tesis de Doctorado, Universitat Politècnica de Catalunya. <http://hdl.handle.net/10803/6978>

- Sañudo-Wilhemly S. A., Tovar-Sánchez A., Fisher N., Flegal A. L., 2004. Examining dissolved toxic metals in U.S. Estuaries. *Environmental Science and Technology*, 35A-38A.
- Sureda A., Tejada S., Box A., Deudero S. 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbon levels and measures of oxidative stress in the Mediterranean endemic bivalve *Pinna nobilis* exposed to the Don Pedro oil spill. *Marine Pollution Bulletin* 71, 69-73.
- Thornton I. 1986. Geochemistry of Cadmium. In: Cadmium in the environment. Part I. H. M. Mislin and O Ravera eds. Birkhauser Verlag, Basel. Switzerland.
- Tovar-Sanchez A. Basterretxea G., Garcés E., Masqué P., García-Solsona E., Marbà N. Caracterización biogeoquímica del litoral del Archipiélago de Cabrera. Proyecto de Investigación en Parques Nacionales: 2007-2010.
- Usero J., González-Regalado E., Gracia I., 1996. Trace Metals in the Bivalve Mollusc *Chamelea gallina* from the Atlantic Coast of Southern Spain. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 32, nº 3, 305-310.
- Usero J., Morillo J., Gracia I. 1997. Contaminación por metales en sedimentos acuáticos. *Tecnología del agua* 166, 44-50.
- Usero J., Morillo J., García I., 2005. Heavy metals concentrations in molluscs from the Atlantic coast of southern Spain. *Chemosphere* 59 (8), 1175-1181.
- Vicente N. 1990. Estudio ecológico y protección del molusco lamelibranquio *Pinna nobilis*. L. 1758 en la costa mediterránea. *Iberus* 9 (1-2), 269-279.
- Vicente N. 2003. La grande nacre de Méditerranée *Pinna nobilis*. Présentation general. 7-16. En: *Premier Séminaire International sur la grande nacre de Méditerranée: Pinna nobilis. Memoires de l'Institut Oceanographique Paul Ricard*.
- Vicente J.J. 2010. Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa suratlántica andaluza afectados por contaminación difusa. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Departamento de Química Analítica. Universidad de Cádiz.
- Vila M., Camp J., Garcés E., Masó M., Delgado M. 2001. High resolution spatio-temporal detection of potentially harmful dinoflagellates in confined waters of the NW Mediterranean. *Journal Plankton Res* 23, 497-514.
- Vink R., Behrendt H., Salomons W., 1999. Development of the heavy metal pollution trends in several European rivers: an analysis of point diffuse sources. *Water Science Technology* 39, 12, 215-223.

Annex I.

Article presentat al 40th CIESM Congress, sobre: Avaluació de metalls pesats al bivalve marí *Pinna nobilis* a les Illes Balears (Oest de Mediterrani).

Annex II.

Article presentat al 40th CIESM Congress, sobre: *Pinna nobilis* i foraminífers epífits com a potencials bioindicadors conjunts de contaminació per metalls pesats a les Illes Balears.